

INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBOLOUX

---

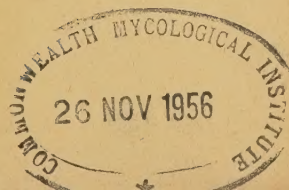
Tome XXIV, n° 3.

1956

BULLETIN  
DE  
L'INSTITUT AGRONOMIQUE  
ET DES  
STATIONS DE RECHERCHES  
DE  
GEMBOLOUX



IMPRIMERIE G. I. C.  
61, Av. de la Liberté, 61  
BRUXELLES



# Sommaire

---

|                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>In memoriam.</i> — J. ROLLAND † . . . . .                                                                                                                                                                                              | 243 |
| DAGNELIE, P. — Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques. — 1 <sup>re</sup> partie . . . . .                                                        | 249 |
| MARTENS, P. H. et NANGNIOT, P. — Contribution à l'étude polarographique des cations les plus usuels. I. Potentiels de demi-onde et coefficients de diffusion en milieux de base variés . . . . .                                          | 285 |
| PIRAUX, E., JAMOTTE, P., LACROSSE, R., LHEUREUX, F., de BRIEY, Th. et PIROT, Y. — Des facteurs conditionnant l'aptitude du beurre à la conservation en frigo. Comment juger rapidement si un beurre convient pour le stockage ? . . . . . | 307 |
| TONNARD, V. — Sur l'apparente hétérogénéité de <i>Spirifer</i> ( <i>Cyrtospirifer</i> ) <i>Verneuilli</i> du gîte de Barvaux . . . . .                                                                                                    | 351 |
| Livres reçus . . . . .                                                                                                                                                                                                                    | 360 |
| Erratum, au N° 2, T. XXIV . . . . .                                                                                                                                                                                                       | 361 |

---

Les articles sont publiés sous la seule responsabilité de leurs auteurs.

---

**Le Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux** paraît normalement quatre fois par an.

Le prix de l'abonnement est de 175 francs par an, somme à verser au compte de chèques postaux n° 7621.08 du Bulletin de l'Institut Agronomique de Gembloux (Belgique) ou à payer par mandat postal.

Prix du présent numéro : 80 francs. Pour la commande, prière de s'adresser au Secrétariat du *Bulletin*.

a) Le Bulletin sera envoyé en échange des publications similaires des Etablissements d'Enseignement Supérieur, des publications périodiques des Sociétés scientifiques et des Revues Scientifiques en général.

b) Tout ouvrage scientifique dont un exemplaire est adressé à la Rédaction, sera signalé sous la rubrique « Livres reçus ».

Toute reproduction des articles parus dans le Bulletin est strictement interdite sans autorisation du Comité de Rédaction.

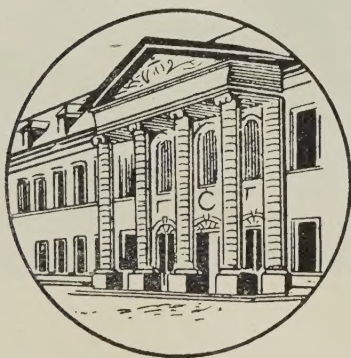
INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBOLOUX

---

Tome XXIV, n° 3.

1956

**BULLETIN**  
DE  
**L'INSTITUT AGRONOMIQUE**  
ET DES  
**STATIONS DE RECHERCHES**  
DE  
**GEMBOLOUX**



IMPRIMERIE G. I. C.  
61, Av. de la Liberté, 61  
BRUXELLES



Digitized by the Internet Archive  
in 2025



JEAN ROLLAND

1909 - 1956



## *In Memoriam* — J. ROLLAND †

---

Le professeur Jean Rolland est décédé le 10 mai 1956, à l'âge de 47 ans, après une longue et inexorable maladie.

La triste nouvelle, propagée le soir même par les ondes nationales, nous a douloureusement surpris. Certes, nous savions tous que son état de santé laissait fortement à désirer depuis plusieurs mois. Mais, Jean Rolland avait dans sa vie livré tant de batailles, gagné tant de combats que nous étions en droit d'espérer que cette fois encore il sortirait victorieux. Hélas, ce ne fut pas le cas.

La Belgique perd en lui un grand citoyen et un éminent parlementaire, l'enseignement officiel un guide expérimenté, l'Institut Agronomique un professeur de grande classe. Ses collègues et élèves le regrettent et le regretteront longtemps. Son séjour à l'Institut avait été bref, beaucoup trop bref mais amplement suffisant pour susciter de solides amitiés parmi nous. Il s'imposa rapidement non seulement par ses mérites professionnels mais aussi par sa valeur humaine faite de bonté, de droiture, d'amabilité, de serviabilité.

Il semble que parmi ceux que la destinée marque pour un départ prématuré, certains sont susceptibles de réaliser en quelques années ce que d'autres mettent une vie entière à accomplir. Jean Rolland était de ceux-là.

Il est né à Saint-Ghislain le 6 avril 1909. Ses études secondaires terminées, poussé par le désir d'enseigner, il s'inscrit à l'Ecole Normale Moyenne de l'Etat, à Nivelles où il fait de brillantes études. Régent littéraire en 1930, il entre immédiatement en fonction dans l'enseignement primaire. Il y passe quatre années. Il aime les enfants, il les étudie et les comprend. Plus tard, lorsqu'à force de travail et de ténacité, il se sera hissé jusqu'à l'enseignement supérieur, il ne taira point ses modestes débuts mais fera bénéficier ses élèves de l'expérience pédagogique acquise auparavant.

De 1934 à 1940, il professe l'histoire à l'école moyenne de sa ville natale ; il fonctionne également à l'école industrielle et à l'école de Chimie de Hornu.

Ces multiples activités professionnelles, aussi absorbantes soient-elles, ne peuvent étouffer son désir de savoir. L'histoire surtout le tente. Il conquiert dans ce domaine à l'Université de Lille ses premiers grades

académiques et s'attache spécialement à l'étude historique de son terroir. Le passé de sa ville natale le préoccupe, surtout son abbaye qui date du VII<sup>me</sup> siècle et qui reçut la visite de Saint-Bernard.

Il lui consacre plusieurs publications dont *L'abbaye de Saint-Chislain à la veille de 1789*. Puis seul ou en collaboration : *Baudour, terre et pairie*; *Stambruges, un peu de passé*; *Histoire de Quaregnon*; *Neufmaisons, histoire d'une commune rurale*; *Ladeuze, topographie, toponymie, hydronymie*.

Pour ses travaux, il réussissait toujours à trouver des collaborateurs enthousiastes; même chez les plus humbles, il savait allumer la passion des choses de l'esprit.

Educateur né, démocrate convaincu, Jean Rolland sentit très tôt que le devoir des maîtres n'est pas seulement dans les écoles, ni même dans le perfectionnement des connaissances personnelles mais encore dans le domaine public où d'énormes tâches attendent des hommes de bonne volonté. Il se met à l'œuvre à Saint-Chislain d'abord, dans le Hainaut ensuite. Son inlassable activité, centrée sur les problèmes d'éducation et d'instruction s'étendra progressivement au pays tout entier.

Il ne se contente pas de faire des suggestions, de proposer des solutions ou des remèdes pour améliorer l'enseignement à tous les degrés, d'écrire de nombreux articles pédagogiques, il agit, il crée. Le professeur est doublé d'un homme d'action clairvoyant, aux vues larges et profondes.

Le 15 novembre 1940, il est nommé professeur d'histoire et de sciences héraldiques à l'Ecole Normale de Mons. Durant la guerre, dans les conditions difficiles qui sont encore dans toutes les mémoires, tout en continuant à professer dans l'enseignement normal et technique, il complète à l'Université de Liège ses études pédagogiques et réalise plusieurs travaux sur l'organisation de l'enseignement technique et la formation des professeurs.

Comme officier de réserve il fait la campagne de 40. Là comme ailleurs, il se distingue et est l'objet de citations élogieuses. Rentré dans son foyer, il continue aussitôt la lutte dans la clandestinité tant à l'A.S. que dans les services de renseignements. Il fut emprisonné par l'occupant durant plusieurs mois. Les services rendus à la cause des alliés lui ont valu de la part de la France, qu'il aimait beaucoup, et de la Belgique des distinctions flatteuses que peu de résistants possèdent. Mais Jean Rolland ne faisait jamais allusion à sa conduite patriotique durant la guerre, même avec ses intimes. Il n'avait, selon lui, fait que son devoir.

La guerre terminée, sa réputation de pédagogue s'affirme de plus en plus dans le monde de l'enseignement et déborde même dans le monde politique où l'on apprécie ses connaissances et son dynamisme. Le ministre de l'Instruction publique Herman Vos l'attache à son cabinet comme secrétaire. Il déploie dans ses nouvelles fonctions tant de qualités et d'adresse que son successeur Camille Huysmans le choisit comme chef de Cabinet. Il voit défiler dans son bureau ses anciens élèves en

quête d'une situation, ses amis à l'affût d'une recommandation, ses concitoyens, ses collègues de l'enseignement... tous le retrouvent, pareil à lui-même, sérieux quant au fond, bonhomme quant à la forme, attentif, bienveillant, toujours prêt à rendre service.

A cette époque, de profondes transformations sont réalisées dans l'enseignement.

C'est entr'autres choses, le passage de l'enseignement technique dans le giron administratif du ministère de l'Instruction Publique et la réforme des programmes. Ceux-ci sont élargis dans le sens d'un humanisme bien compris qui devait dans la mesure du possible rapprocher la formation des élèves de cet enseignement, de celle acquise dans l'enseignement moyen. Jean Rolland assume avec d'autres cette mise au point délicate. Pour ce faire, l'autorité nécessaire lui est conférée par sa désignation d'inspecteur puis d'inspecteur général de l'enseignement technique. Autre transformation à laquelle notre regretté disparu n'est point étranger: le rattachement administratif des Instituts Agronomiques à l'Enseignement Supérieur et leur assimilation aux Universités. En effet, la loi du 27 juin 1947 attribue le caractère de grades académiques aux titres conférés par ces établissements, fixe à 5 ans la durée des études, précise le programme des examens, assimile ces Instituts aux Universités pour la délivrance des diplômes de candidats et d'ingénieurs agronomes ainsi que celui d'agrégés de l'Enseignement Supérieur. L'arrêté du 2 juin 1948 modifie le programme des examens, celui du 30 septembre supprime le graduat. Le 9 novembre de la même année est créé le grade d'agrégé de l'enseignement technique supérieur (enseignement agricole) et enfin l'arrêté du 17 novembre 1949 institue le diplôme de docteur en sciences agronomiques.

Jean Rolland pose sa candidature à la nouvelle chaire de pédagogie de l'Institut Agronomique de Gembloux. Le Conseil Académique considère celle-ci avec une extrême bienveillance et le 2 février 1949, S.A.R. le Prince Charles, Régent de Belgique, le nomme, pour mérites exceptionnels, professeur ordinaire chargé des enseignements suivants : Organisation de l'Enseignement technique, Méthodologie générale, Pédagogie expérimentale et Histoire de la Pédagogie.

D'emblée, il se met à la tâche et les élèves affluent dans cette nouvelle section qui devient rapidement la mieux fournie de l'Institut.

Former de bons pédagogues en leur donnant une technique sûre, leur insuffler le goût du métier, développer leur idéal d'enseignant, pour réussir une telle tâche il faut plus qu'un professeur. Il faut un maître. Jean Rolland a été à Gembloux ce maître et il a fait des disciples qui aujourd'hui lui font honneur.

Son court séjour parmi nous ne lui a pas permis de mener à bonne fin des œuvres de longue haleine. Toutefois il confie à un petit opuscule intitulé *Introduction à l'étude de la pédagogie* ses vues profondes sur l'éducation des jeunes, fruit de sa longue expérience. En collaboration avec son collègue le Dr Martin, il fait une mise au point sur le sujet si controversé *Hérédité et éducation*.

Il s'intéresse vivement à la vie de l'Institut dont il suit de près le développement et dont il devient rapidement un des soutiens les plus effectifs auprès des instances supérieures. En effet, après les élections de 1949, désigné par le conseil général du parti socialiste, il entre au Sénat par cooptation à l'âge de 40 ans.

Dans la Haute Assemblée, il se consacre aux questions d'enseignement et fut rapporteur à la Commission de l'Instruction, tâche délicate dont il s'acquitte, au dire de ses pairs, avec la distinction dont il témoignait en toutes choses. Son action parlementaire se manifeste par de nombreuses interventions et le dépôt de plusieurs projets de lois tendant à améliorer l'enseignement. Là comme ailleurs, il fit autorité dans son domaine et marqua son passage au Sénat d'une façon prestigieuse.

Jean Rolland aimait beaucoup sa ville natale et son activité professionnelle débordante n'avait pu l'empêcher de souscrire à l'appel de ses concitoyens et de s'intéresser à la vie municipale de Saint-Ghislain dont il devint le bourgmestre. Il releva sa ville — la plus sinistrée de Belgique — de ses ruines en peu de temps.

Lui demandant un jour en guise de boutade s'il n'était pas tenté de favoriser ceux de ses concitoyens qui appartenaient au même parti politique que lui, il réagit vivement : « A Saint-Ghislain, je suis le maître de tous, au Sénat je défends l'enseignement ».

Jean Rolland, homme politique, ne connaissait pas l'intolérance. Cette qualité jointe à une vivacité d'esprit peu commune, à un caractère d'un naturel jovial, à une culture générale très poussée faisait de lui un homme dont on recherchait la compagnie. Il ne faisait pas étalage de son érudition dans le domaine de l'instruction et de l'éducation mais il était heureux de pouvoir échanger des idées sur ce sujet avec ses collègues de l'Institut.

Jean Rolland est mort à la tâche. Il a trop exigé des possibilités humaines, ce fut la seule erreur de sa vie.

Ses funérailles eurent lieu le 14 mai 1956 à Saint-Ghislain. Elles furent à la fois grandioses et émouvantes. De nombreux membres du personnel enseignant, scientifique et administratif de l'Institut ainsi qu'une délégation d'étudiants se firent un devoir d'y assister. Plusieurs discours y furent prononcés. M. le Recteur Hespel rendit à notre regretté collègue l'ultime hommage qui lui était dû et exprima à Madame Rolland et à sa fille, si douloureusement éprouvées, les vives et sincères condoléances de l'Institut Agronomique tout entier.

A. WILLAM

---

# Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques <sup>(\*)</sup>

par

Pierre DAGNELIE

---

## PREMIERE PARTIE

### RECHERCHE D'UN CRITERE DE STATION UTILISABLE DANS LES HETRAIES D'ARDENNE

#### INTRODUCTION

« La production forestière dépend de la station et du mode de traitement, donc de deux groupes de facteurs, l'un naturel, l'autre dicté par l'homme » (Etter 1949) (\*\*). Selon que l'intervention humaine a maintenu ou a modifié sensiblement les qualités intrinsèques d'une station forestière, nous parlerons de sa *productivité naturelle* ou de sa *productivité artificielle*. D'après cette définition, la production naturelle n'est donc pas « celle de la forêt vierge, mais bien le rendement des futaies éclaircies, d'un développement normal, dont la composition est celle de la forêt en place, donc la production de forêts gérées, où cependant les phénomènes vitaux et leur corrélation jouent comme dans la forêt naturelle » (Ibid.). Ainsi définie, la productivité naturelle et la productivité artificielle correspondent sensiblement aux appellations

---

(\*) Mémoire présenté pour l'obtention du grade d'Ingénieur agronome (groupe Eaux et Forêts).

(\*\*) Renvoi à l'index bibliographique de la première partie (page 279).

utilisées par Wiedemann (1950-1951), à savoir : *productivité potentielle* et *productivité actuelle* de la station (\*).

« Dans une sylviculture réglée, la *détermination de la productivité de la station* est indispensable puisqu'elle est la condition nécessaire de tous les calculs forestiers de la production et de la rentabilité : car, c'est seulement lorsqu'on connaît la fertilité du lieu, qu'il est possible de déterminer l'essence, la révolution, le traitement sylvicole qui sont les plus rémunérateurs : ce sont là des questions d'une importance capitale, non seulement du point de vue de l'économie privée, mais aussi de celui de l'économie publique » (Cajander 1943). Nous appellerons *critères de station* (ou critères de productivité, ou, aussi, critères de fertilité) certaines caractéristiques simples du peuplement ou de la station qui permettent de déterminer, avec une exactitude et une précision suffisantes, la productivité stationnelle (naturelle ou artificielle).

Dans le cas des forêts ardennaises à base de hêtres, souvent modifiées par l'homme, la productivité potentielle (ou naturelle) est difficile, sinon impossible à estimer : une telle estimation serait d'ailleurs dépourvue d'intérêt immédiat. Par contre, la connaissance de la productivité actuelle (ou artificielle) et des modifications qu'elle peut subir serait très utile au forestier, tant du point de vue pratique (aménagement et gestion) que du point de vue théorique (étude de la biocénose forestière).

Le but auquel ce travail s'efforce de parvenir est d'enrichir nos connaissances relatives à la *productivité actuelle des hêtraies d'Ardenne*. Voici, rapidement esquissé, le plan de nos recherches :

Parmi les nombreux critères de station proposés dans la littérature, nous avons choisi une méthode susceptible de donner des résultats intéressants (Première partie).

Quatre-vingts stations localisées sur le terrain ont été étudiées au triple point de vue de leur écologie, de leur couverture végétale et de leur productivité, estimée à l'aide de ce critère de station, adapté aux conditions des hêtraies d'Ardenne. (Deuxième partie) (\*\*). En se basant sur les résultats obtenus dans ces stations, il est possible d'estimer la fertilité des différents groupements végétaux et d'étudier la signification de ces groupements au point de vue de la productivité des peuplements forestiers. (Troisième partie) (\*\*).

(\*) « Die Standortsgüte ist die Zusammenfassung aller Eigenschaften von Klima, Lage und Boden, welche die Fruchtbarkeit eines Standortes bedingen. Die Fruchtbarkeit wird nicht durch die dauernden Eigenschaften des Standortes beeinflusst, sondern auch durch die Behandlung des Bodens, die unter Umständen (z.B. Streunutzung, Düngung) einen sehr erheblichen Einfluss gewinnen kann. Daher unterscheidet man die augenblickliche oder aktuelle Standortsgüte, welche der Standort augenblicklich unter dem Einfluss dieser Faktoren hat, und die potentielle Standortsgüte, welche der Standort unter « normalen » Verhältnissen bei Ausschaltung solcher menschlicher Eingriffe haben würde. »

(\*\*) La deuxième et la troisième parties paraîtront ultérieurement dans ce Bulletin.

## REMERCIEMENTS

Que toutes les personnes qui nous ont aidé dans l'élaboration du présent travail trouvent ici l'assurance de notre bien sincère gratitude :

nos Professeurs à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux, qui n'ont pas manqué de nous dispenser leurs conseils éclairés;

les Ingénieurs du Centre de Cartographie phytosociologique et du Centre de Cartographie des Sols, dont nous avons à plusieurs reprises consulté les cartes ;

les Agents forestiers des cantonnements ardennais, qui nous ont aimablement communiqué tous les documents relatifs à la localisation des coupes et à la production des peuplements, et les Agents de la Station de Recherches des Eaux et Forêts, à Groenendael, qui nous ont aidé dans nos recherches bibliographiques ;

et le Personnel de l'Administration des Eaux et Forêts, qui nous a guidé plusieurs fois dans notre travail sur le terrain.

## PLAN DE LA PREMIERE PARTIE

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| A. Les critères de station : étude bibliographique et critique ... ..          | 252 |
| I. Méthodes directes ... ..                                                    | 252 |
| a. Les classes de productivité ... ..                                          | 252 |
| b. L'accroissement en volume ... ..                                            | 255 |
| II. Méthodes indirectes ... ..                                                 | 256 |
| a. Méthodes basées sur l'étude quantitative du peuplement ... ..               | 256 |
| 1. Etude de la hauteur ... ..                                                  | 256 |
| 2. Etude de caractéristiques autres que la hauteur ... ..                      | 267 |
| b. Méthodes basées sur l'étude floristique de la station ... ..                | 268 |
| c. Méthodes basées sur l'étude de facteurs écologiques ... ..                  | 271 |
| d. Méthodes diverses ... ..                                                    | 274 |
| III. Discussion et conclusions ... ..                                          | 275 |
| a. But et intérêt des différents critères de station ... ..                    | 275 |
| b. Principales méthodes à retenir ... ..                                       | 277 |
| B. Choix d'un critère de station utilisable dans les hêtraies d'Ardenne ... .. | 278 |
| Index bibliographique de la première partie ... ..                             | 279 |
| Résumé de la première partie ... ..                                            | 283 |

## A. LES CRITERES DE STATION : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ET CRITIQUE

### I. Méthodes directes

#### Principe

La production est estimée directement en volume de matière ligneuse et on considère comme critère de station soit le volume total produit à un âge donné, soit l'accroissement annuel moyen total à cet âge de référence (\*).

#### a. LES CLASSES DE PRODUCTIVITE

(Boudru 1954 - Prodan 1951 - Wiedemann 1950-51)

##### 1. Méthode initiale (Méthode des bandes)

1° La division en classes de productivité est basée sur l'étude de la croissance en volume de *peuplements purs, équiennes et de densité normale*, dans un certain domaine de croissance (Wuchsgebiet), où l'essence considérée réagit de manière suffisamment uniforme aux conditions écologiques.

On considère un grand nombre de stations répondant à ces conditions et on représente graphiquement chacune d'entre elles par un point localisé en fonction de l'âge du peuplement, en abscisses, et du volume total produit (p.p. + p.i.), en ordonnées (fig. 1). Deux courbes de croissance (A et F) sont tracées de manière à englober pratiquement tous les points du graphique ; aux différents âges, l'intervalle compris entre ces courbes est divisé en plusieurs parties égales : les différentes bandes ainsi délimitées par un faisceau de courbes (B, C, D, E) correspondent chacune à une *classe de productivité* ; des courbes médianes caractéristiques de chaque classe sont également tracées (I, II, III, IV, V). Le graphique obtenu est dit « en queue de comète ».

Généralement on détermine cinq classes de productivité, numérotées de I à V, la classe I étant la meilleure : l'âge de référence, pour lequel on établit le volume total produit, est de 100 ans.

2° Sur le graphique en queue de comète, il est possible de repérer la production théorique d'un peuplement d'une classe déterminée, à un âge donné. En se basant sur de semblables estimations et sur des mensurations effectuées dans des peuplements purs, équiennes et de densité

---

(\*) Le volume du peuplement total (p.t.) comprend le volume du matériel sur pied (peuplement principal, p.p.) et le volume prélevé en éclaircie (peuplement intermédiaire ou accessoire, p.i.).

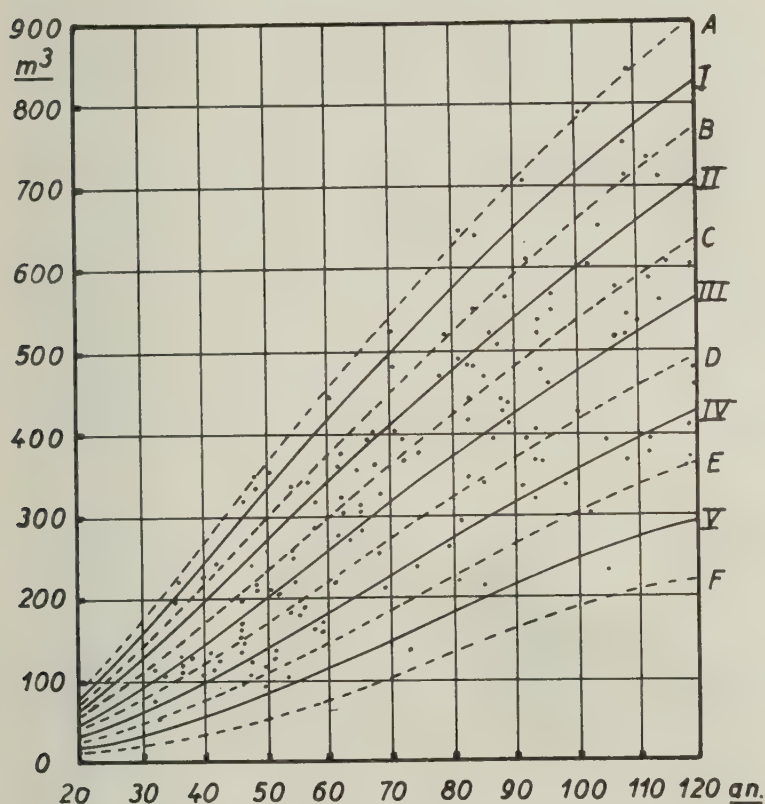


FIG. 1. — Graphique en queue de comète :  
classes de productivité définies par la croissance en volume. (Extrait de Schaeffer, 1944)

normale, on définit les *caractéristiques normales* des peuplements de l'essence considérée : nombre de bois à l'hectare, diamètre moyen, hauteur moyenne, surface terrière, accroissement annuel courant, accroissement annuel moyen, etc., ces valeurs étant données pour le peuplement principal, pour le peuplement intermédiaire et pour le peuplement total. L'ensemble des caractéristiques normales, à différents âges (de 5 en 5 ans ou de 10 en 10 ans) et pour les diverses classes de productivité d'une essence, constitue des *tables de productivité*.

## 2. Critique de la méthode initiale

(Cajander 1926 et 1943 — Schaeffer 1944)

1° La méthode est claire et relativement simple dans son principe, mais la détermination des classes de productivité et de leurs caractéristiques normales est longue et difficile.

2° Il n'est pas certain que les courbes établies correspondent exactement à l'évolution réelle des peuplements, d'autant plus que leur tracé repose principalement sur les caractéristiques des stations de fertilité extrême, les plus pauvres et les riches, qui sont aussi les moins bien représentées.

3° Le nombre de classes de productivité est forcément limité et, généralement, celles-ci ne correspondent à aucune distinction naturelle. En outre, il n'y a pas nécessairement correspondance entre les classes établies par différents auteurs pour une même essence : à plus forte raison, la méthode des classes de productivité ne permet aucune comparaison entre essences différentes.

4° Il n'est possible d'assimiler aux normes établies que des peuplements purs, équiennes et de densité normale, et, pour ceux-ci, il est souvent difficile en pratique de déterminer l'âge et le volume total produit. *Les cas d'application de la méthode initiale se présentent donc rarement.*

### 3. Améliorations apportées à la méthode initiale

#### A) TRACE DES COURBES

1° Dans le tracé des courbes, on peut faire intervenir les données de toutes les stations : on trace, pour tous les points, une courbe centrale de régression que l'on suppose être la courbe de croissance de la classe médiane (classe III, généralement). De part et d'autre de celle-ci et à l'intervalle désiré, on trace par simple proportion les autres courbes (I et II au-dessus de III, IV et V en dessous de III).

Cette méthode est dite *anamorphique* : elle suppose que la croissance suit une marche parallèle dans toutes les stations, indépendamment de la fertilité, et notamment que l'accroissement annuel courant en volume, tout en atteignant des valeurs différentes d'une station à l'autre, se produit au même âge dans les cinq classes de productivité. Cette hypothèse peut difficilement être admise et il semble plus logique d'établir des courbes de croissance de type différant d'une classe de productivité à l'autre : ces courbes sont dites *polymorphiques* (BELYA 1931 - BRUCE 1923 et 1926 - BRUCE et SCHUMACHER 1950 - CHAPMAN et MEYER 1949).

Les courbes anamorphiques pourront toutefois être utilisées avantageusement au cours de travaux n'exigeant pas une précision élevée, ou relatifs à une faible amplitude d'âge, ou aussi lorsque les données sont trop peu précises ou trop peu nombreuses pour établir un système de courbes polymorphiques (BULL 1931).

2° En suivant l'évolution de peuplements de différents âges pendant une période suffisamment longue, on obtient des segments de courbes

à partir desquels il est possible d'établir avec plus de sécurité les courbes réelles de croissance (Méthode de Hayer) (CAJANDER 1926 et 1943).

#### B) NOMBRE DE CLASSES

WIEDEMANN (1936 et 1950-51) a scindé chaque classe en dix subdivisions, la classe III s'étendant par exemple de la productivité (II,5) à la productivité (III,4). Les cinq courbes médianes classiques caractérisent les productivités (I,0), (II,0), (III,0), (IV,0) et (V,0).

#### C) DENSITE

Il est possible de faire intervenir un *facteur de densité* permettant de comparer des peuplements de toute densité aux caractéristiques établies pour des peuplements normaux. Le facteur de densité est défini par la surface terrière (WIEDEMANN 1950-1951) ou par le volume (ERTELD 1953).

### 4. Utilisation de la méthode des classes de productivité

La méthode initiale a été décrite par Von Baur en 1877 (CAJANDER 1926 - SCHAEFFER 1944) ; au début de ce siècle, elle était déjà d'application courante en Europe centrale, où des tables de productivité ont été établies pour les principales essences forestières, indigènes et exotiques. Progressivement améliorée, la méthode des classes de productivité a été utilisée ultérieurement dans de nombreuses régions d'Europe et d'Amérique. Cependant, la définition des classes de productivité en fonction de la hauteur du peuplement (Höhenbonität) a rapidement supplanté la méthode classique basée sur le volume (Massenbonität) : dans les tables de FLURY (1907), les classes de productivité sont déjà établies en fonction de la hauteur moyenne du peuplement. Von Baur avait d'ailleurs compris la valeur de la croissance en hauteur comme critère de station (CAJANDER 1926 et 1943).

#### b. L'ACCROISSEMENT EN VOLUME

1. Pour les *futaies équiennes*, l'accroissement annuel moyen total en volume (p.p. + p.i.) à un âge donné est en relation simple avec le volume total produit et peut donc servir de critère de station (Philipp 1931). Cette méthode est identique à la méthode des classes de productivité basées sur le volume, quant à sa valeur et quant à ses conditions d'application.

L'accroissement annuel courant et l'accroissement périodique (ou moyen périodique) ne sont pas utilisables comme critères de station du fait de leurs variations en fonction de l'âge du peuplement.

2. Pour les *futaies jardinées*, l'accroissement annuel et l'accroissement périodique en volume sont les seuls critères directs de productivité. Dans les futaies aménagées par la méthode du contrôle, ces

caractéristiques sont connues et sont facilement utilisables pour établir un classement des stations. Par application des autres méthodes d'aménagement, la détermination en est très difficile, souvent même impossible : il faut en effet disposer de renseignements exacts et complets sur les prélèvements effectués et sur l'évolution de la richesse du peuplement au cours d'une période donnée.

## II. Méthodes indirectes

### Principe

La fertilité de la station est caractérisée par un critère quelconque, qualitatif ou quantitatif, qui est en relation étroite avec la production en volume. Le critère envisagé définit un certain nombre de niveaux de productivité pour chacun desquels il est possible d'estimer la production en volume.

*Les principales méthodes utilisées sont basées :*

- 1° sur l'étude quantitative du peuplement, principalement sur l'étude de la croissance en hauteur :
- 2° sur l'étude floristique de la station, définissant des types forestiers :
- 3° sur l'étude de facteurs écologiques, particulièrement sur l'étude de l'alimentation en eau.

### a. METHODES BASEES SUR L'ETUDE QUANTITATIVE DU PEUPEMENT

#### 1. Etude de la hauteur

##### *Principe*

Il existe une relation simple et unique entre la hauteur et la production en volume, indépendamment du mode de traitement et, en première approximation, de la qualité de la station et de l'âge des arbres : *des peuplements ayant atteint la même hauteur, dans des stations de toute fertilité, ont produit sensiblement le même volume de matière ligneuse.* Cette constatation, déjà très ancienne, a été vérifiée par de nombreux auteurs. (Cf. p. 260).

Connaissant la hauteur d'un peuplement, il est donc possible d'en estimer la production. Si, en outre, on possède quelques renseignements sur son âge, on peut chiffrer la productivité de la station (\*).

(\*) Il est essentiel de ne pas confondre les notions de production et de productivité. La *production* est le volume total produit au moment où l'on considère le peuplement ; la *productivité* est caractérisée par le volume total produit à un âge de référence, ou par l'accroissement annuel moyen à cet âge.

## I. METHODES FONDAMENTALES

## A) HAUTEUR TOTALE MOYENNE DU PEUPLEMENT (\*) (Höhenbonität)

Différentes définitions de la hauteur moyenne d'un peuplement ont été données : celles-ci sont plus ou moins intéressantes comme critères de station (FLURY 1907 - PRODAN 1951 - WIEDEMANN 1936 et 1950-1951).

1° *Moyenne arithmétique des hauteurs de tous les arbres*

Cette caractéristique dépend fortement du nombre et de la hauteur des tiges dominées et, de ce fait, du mode de traitement (type et intensité d'éclaircie). La moyenne arithmétique donne généralement l'estimation la plus faible de la hauteur moyenne. Elle ne constitue pas un critère de station suffisamment précis.

2° *Moyenne pondérée par la surface terrière*

Si on suppose constant le coefficient de forme, la hauteur moyenne est définie par la *formule de Lorey* :

$$H = \frac{g_1 h_1 + \dots + g_n h_n}{g_1 + \dots + g_n} = \frac{\sum_i g_i h_i}{\sum_i g_i} \quad \text{où } h_1, \dots, h_n$$

sont les hauteurs des différents arbres et  $g_1, \dots, g_n$  les surfaces terrières correspondantes (surfaces de la section transversale de la tige, à hauteur d'homme).

Le calcul de la hauteur moyenne est généralement simplifié en considérant cinq groupes d'arbres constituant autant de catégories de diamètre. Ces groupes comprennent chacun soit un cinquième du nombre de bois, soit un cinquième de la surface terrière totale. Pour chaque groupe, les dimensions de la tige moyenne sont calculées : moyenne arithmétique de la surface terrière et moyenne arithmétique de la hauteur ; la formule de Lorey est appliquée aux cinq couples de valeurs ainsi obtenues.

Pondérée de cette façon, la hauteur moyenne dépend moins des dominés (de surface terrière réduite), et donc du mode de traitement. Cependant la détermination en est relativement longue : elle nécessite un inventaire complet, en hauteur et en diamètre.

3° *Hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne sur la courbe hauteur/diamètre*

On trace la courbe de régression de la hauteur des arbres en fonction de leur diamètre, et on cherche sur ce graphique la hauteur

(\*) D'une manière générale, on utilise de préférence comme critère de station la *hauteur totale* des arbres, et non la hauteur partielle jusqu'à une certaine recoupe (bois fort, première grosse branche, etc.) ; ces hauteurs partielles sont en effet délicates à définir et, surtout, difficiles à localiser en pratique.

de l'arbre correspondant à la surface terrière moyenne du peuplement (\*) (Fig. 2).

Cette définition de la hauteur moyenne donne des estimations analogues à celles de la moyenne de Lorey, quoique souvent légèrement inférieures à celles-ci. D'après Schwappach, cité par Prodan (1951), la différence varierait de 0.3 à 1.5 mètre. Wiedemann (1936) considère qu'il n'existe pas de différence systématique entre ces deux estimations de la hauteur moyenne, dans le cas de peuplements éclaircis normale-

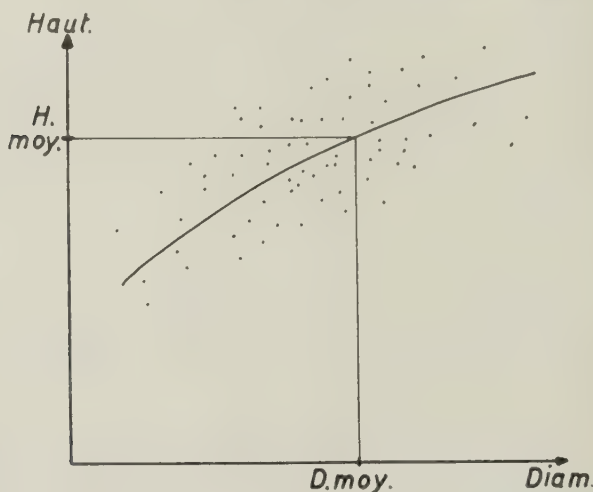


FIG. 2

ment par le bas. Pour des peuplements éclaircis par le haut, la différence entre la hauteur moyenne de Lorey et la hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne serait proche de 1 mètre.

Moyennant cette correction éventuelle, les deux estimations ont une valeur égale comme critère de station.

#### 4° Autres définitions de la hauteur moyenne

D'autres définitions de la hauteur moyenne d'un peuplement forestier ont été proposées, mais elles sont plus rarement utilisées (PRODAN 1951 - WIEDEMANN 1936 - F.A. 12-3479) (\*\*).

(\*) Le diamètre moyen d'un peuplement (fig. 2) est généralement défini comme étant le diamètre de la tige de surface terrière moyenne (moyenne arithmétique de la surface terrière de tous les bois).

(\*\*) Les références (F.A. ... . ...) renvoient à des résumés de publications parus dans la revue *Forestry Abstracts*; le premier numéro est celui du volume contenant ce résumé, le second, celui du résumé lui-même, dans ce volume.

## B) HAUTEUR TOTALE MOYENNE DES DOMINANTS ET CODOMINANTS

La méthode de l'*indice de station (site index)* proposée par les auteurs américains permet d'éliminer facilement l'intervention des tiges dominées dans le calcul d'un critère de productivité.

1° *Définition de l'indice de station*

L'indice de station est la *hauteur totale moyenne*, moyenne arithmétique exprimée généralement en pieds, *des arbres dominants et codominants à un âge de référence* : 50 ans pour les essences exploitées à courte révolution (résineux, le plus souvent), 100 ans pour les essences exploitées à longue révolution (feuillus et quelques résineux). Les dominants et codominants ont été définis par un Comité de la Société des Forestiers américains (BRUCE et SCHUMACHER 1950 - CHAPMAN et MEYER 1949 - MUNNS et al. 1926 - SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS 1917) (\*).

Certains auteurs considèrent comme indice de station uniquement la hauteur totale moyenne des arbres dominants.

2° *Détermination des indices de station*

On détermine graphiquement les valeurs de l'indice de station en procédant de la même manière que pour les classes de productivité (Fig. 1, p. 253) : sur le graphique de la hauteur totale des dominants et codominants, en ordonnées, en fonction de l'âge, en abscisses, on représente par un point les différentes stations étudiées, l'âge et la hauteur moyenne étant déterminés à partir de 5 ou 10 arbres dominants ou codominants. On considère les variations de la hauteur à l'âge de référence, et on divise l'intervalle entre les valeurs extrêmes en plusieurs bandes, généralement de 10 en 10 pieds. Comme dans la méthode des classes de productivité, on établit les courbes de croissance aux limites des bandes et en leurs points médians (\*\*).

Tous les points situés dans une même bande sont supposés appartenir à une même catégorie de fertilité, représentée par son indice de station, c'est-à-dire par la valeur du point médian de la bande à l'âge de référence.

3° *Classes d'indice de station*

Les indices de station peuvent être regroupés en classes dont les limites s'échelonnent de 20 en 20 ou de 30 en 30 pieds. En définissant ainsi quelques classes d'indice de station, les auteurs américains se sont

(\*) *Dominants* = « trees with crowns extending above the general level of the forest canopy and receiving full light from above and partly from the sides ; larger than the average trees of the stand and with crowns well developed but possibly somewhat crowded on the sides ». *Codominants* = « trees with crowns forming the general level of the forest canopy and receiving full light from above but comparatively little from the sides ; usually with medium sized crowns more or less crowded on the sides ».

(\*\*) Ici également sont applicables des méthodes anamorphiques et des méthodes polymorphiques (Cf. p. 254).

rapprochés de la méthode européenne des classes de productivité (CHAPMAN et MEYER 1949 - Mc ARDLE et al. 1930 - SHOW 1925).

PRODAN (1951) a souligné, en envisageant la hauteur moyenne du peuplement, une distinction analogue à celle existant entre l'indice de station et les classes d'indice de station : il parle de « *absolute Höhenbonität* » lorsque les hauteurs moyennes sont exprimées par leurs valeurs numériques, comme l'est aussi l'indice de station, et de « *relative Höhenbonität* » lorsque les valeurs de hauteur moyenne sont groupées en classes, correspondant généralement aux cinq classes de productivité.

### C) ESTIMATION DE LA PRODUCTION

1° *Lorsqu'il existe des tables de productivité*, on peut, par l'étude de la croissance en hauteur, situer un peuplement dans l'échelle des classes de productivité. Les caractéristiques normales du peuplement, notamment sa production totale en volume, sont alors connues.

2° *En l'absence de tables de productivité*, il est possible d'estimer directement la production en considérant la relation liant le volume d'un peuplement à sa hauteur. Dans leurs premiers travaux, les forestiers de l'Europe centrale ont considéré la hauteur moyenne (moyenne de Lorey, généralement) et le volume du peuplement principal. EICHORN (1904) a montré que pour le hêtre et le sapin argenté la relation liant ces deux éléments est pratiquement indépendante de la productivité de la station. Quelques années plus tard, FLURY (1907) a établi la relation graphique et la relation numérique pour l'épicéa, la relation numérique seulement pour le hêtre, entre la hauteur moyenne et le volume du peuplement (fig. 3).

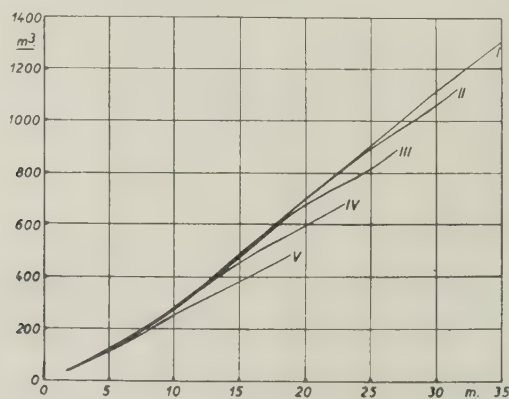


FIG. 3. — Dans les cinq classes de productivité de l'épicéa, relation entre la hauteur moyenne et le volume du peuplement, (Extrait de Flury, 1907)

Plus récemment, ETTER (1949) a étudié la liaison existant entre la hauteur totale du peuplement dominant (Oberhöhe) et le volume

total produit (p.p. + p.i.). Graphiquement, il apparaît que les points représentant 247 mesures effectuées dans 39 parcelles de hêtraies sont remarquablement groupés en une bande étroite (fig. 4). Numériquement, les parcelles ont été réunies en catégories de hauteur, de mètre en mètre, et, pour chacune de celles-ci, la production moyenne et sa variation ont été calculées. Deux courbes ont été ajustées : l'une graphiquement, l'autre suivant la loi exponentielle suivante :

$V = 5.2549 H^{1.4952}$  ou  $\log V = (1.4952 \log H) + 0.72056$ ,  $V$  étant le volume produit, en  $m^3$ , et  $H$  la hauteur totale des dominants, en mètres. Pour chaque catégorie de hauteur, les valeurs de la production

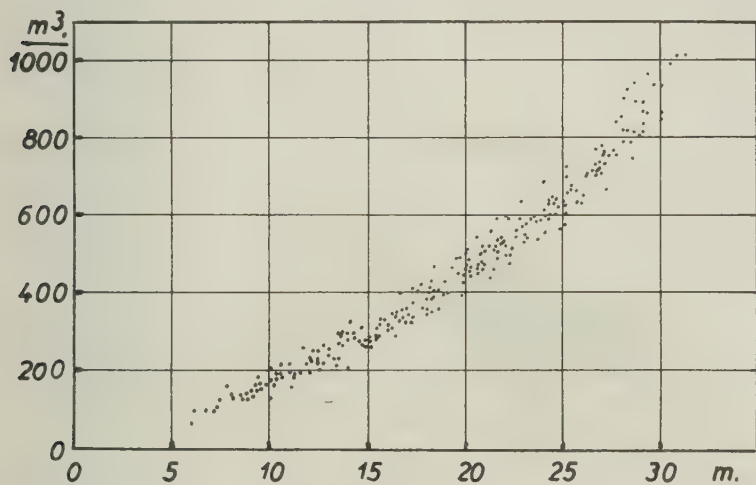


FIG. 4. — Relation graphique entre la hauteur totale du peuplement dominant et le volume total produit, dans les hêtraies suisses. (Extrait de Etter, 1949)

ont été estimées à l'aide de ces relations et les écarts-types calculés autour des valeurs estimées. Il apparaît que pour des hauteurs supérieures ou égales à 15 mètres, l'écart-type de la valeur estimée est inférieur ou égal à 9 % de la production réelle moyenne. Cela signifie que, *connaissant la hauteur des dominants, le volume produit par le peuplement peut être estimé avec une erreur moyenne inférieure à 6 %*, si on admet que les variations de production sont distribuées dans chaque catégorie de hauteur suivant la loi normale des erreurs (courbe en cloche, de Gauss).

D'une manière plus théorique, il ressort de l'examen des tables de productivité que, à hauteurs moyennes égales, la production de peuplements très âgés est plus grande que la production de peuplements notablement plus jeunes, mais de fertilité supérieure (tableau 1). Soulignons cependant que, contrairement à ETTER, nous considérons ici la hauteur moyenne du peuplement (moyenne de Lorey) et que la

différence entre celle-ci et la hauteur des dominants n'est pas nécessairement constante.

| Classes de productivité | I    | II   | III  | IV   | V |
|-------------------------|------|------|------|------|---|
| Hauteur . . . . .       | 23,0 | 23,0 | 23,0 | 23,0 | — |
| Age . . . . .           | 63   | 77   | 98   | 132  | — |
| Volume produit . . . .  | 421  | 455  | 500  | 546  | — |

TABLEAU 1

Relation entre les classes de productivité du hêtre, l'âge des peuplements et le volume produit, à hauteur constante. (D'après les données des tables de Wiedemann, 1949)

ETTER (Ibid.) a tenté de préciser cette influence de l'âge (a) sur la production en substituant à H, dans la loi exponentielle, la valeur  $H \left(1 + \frac{a}{1000}\right)$ , expression proposée par SCHWAPPACH pour le pin sylvestre. L'équation obtenue ainsi ne paraît pas plus adéquate que la relation simple entre V et H, pour estimer la production.

Se basant sur une théorie générale de la croissance, GALOUX (1954a et 1954b) a reconsidéré la relation envisagée par ETTER. Pour le hêtre, la loi liant le volume du bois de fût à la hauteur moyenne des dominants serait la suivante :

$$V = \frac{1}{1.853} H^{2.1471} \quad \text{ou} \quad \log V = (2.1471 \log H) - 0.26788$$

ou, approximativement,  $V = 0.55 H^2$ .

#### D) VALEUR DES METHODES BASEES SUR L'ETUDE DE LA HAUTEUR

##### 1° Influence du mode de traitement sur la croissance en hauteur

L'utilisation de la hauteur comme critère de station suppose notamment que *la croissance en hauteur est pratiquement indépendante du mode de traitement*. Cette hypothèse, généralement admise, est cependant discutée par certains forestiers.

Pour le hêtre, elle semble être confirmée par plusieurs études consacrées à la comparaison de différents modes et degrés d'éclaircie, notamment par FLURY (1903) et DIETERICH (1924-25). D'après BADOUX (1939), seules les éclaircies d'intensités extrêmes (nulle ou très forte) pourraient causer des différences de hauteur, toutes autres conditions étant égales. Dans les hêtraies danoises, BORNEBUSCH (1943) considère que « la croissance en hauteur des arbres dominants du peuplement n'est en général pas influencée par l'éclaircie ». Pour DELEVOY (1949a),

les différences observées en Forêt de Soignes paraissent, « sinon indépendantes du mode d'éclaircie, du moins peu significatives ».

WIEDEMANN (1950-51) a établi que la différence de hauteur due à une différence de traitement peut atteindre 1 à 3 mètres dans le cas du hêtre, du chêne et du pin sylvestre. Toutefois, cette différence diminue fortement lorsque l'on considère des peuplements de plus en plus âgés.

Parmi les différentes tables de productivité relatives au hêtre, seules celles de GEHRHARDT (1930a et 1930b) font intervenir le degré d'éclaircie comme facteur de la croissance en hauteur. Se prononçant dans le même sens, ASSMANN (1949) critique sévèrement l'opinion généralement admise, tendant à considérer la croissance en hauteur comme indépendante du mode de traitement. Plusieurs auteurs américains ont également signalé une influence significative de la densité des peuplements sur la croissance en hauteur et les valeurs atteintes par l'indice de station (GAISER et MERZ 1951 - MAC KINNEY et al. 1937 - F.A. 4, p. 197).

En conclusion, il semble raisonnable d'admettre que *les différences de hauteur dues à des différences de traitement sont faibles, pour des arbres dominants et âgés, croissant en peuplements fermés et éclaircis sans excès* (éclaircie normale par le bas). Dans ces conditions, la hauteur du peuplement (hauteur moyenne de Lorey ou indice de station) constitue un critère de station très satisfaisant.

## 2° Valeur de la relation liant le volume à la hauteur

Ainsi qu'il ressort de l'examen des tables de productivité (Cf. p. 262) et comme certains auteurs l'ont souligné (ASSMANN 1949), la relation entre la hauteur atteinte et le volume total produit n'est pas, d'une manière générale, indépendante de la fertilité de la station, ou de l'âge du peuplement.

Dans le cas des hêtraies suisses, l'existence d'une relation étroite et unique semble bien mise en évidence (Cf. p. 261). Cette preuve nous paraît beaucoup plus concluante que celles issues de la confrontation des caractéristiques normales des différentes classes de productivité : à hauteur égale, les différences de production entre classes voisines sont inférieures à 10 % (tableau 1), et nous ne sommes aucunement assurés de la signification de cet écart relativement faible, apparaissant entre des courbes de croissance très semblables obtenues à la suite de multiples transformations des données expérimentales (BRUCE 1925).

Il n'est d'ailleurs pas exclu qu'une relation unique entre la hauteur atteinte et la production n'existe que pour certaines essences : il y aurait lieu peut-être de comparer à ce point de vue les essences d'ombre et les essences de lumière (EICHORN 1904).

### 3° Avantages de l'indice de station et de la hauteur moyenne

La méthode de l'indice de station est particulièrement simple et d'application beaucoup plus rapide que la méthode des classes de productivité : les dominants et codominants semblent faciles à repérer et à mesurer, et la lecture du graphique en queue de comète est élémentaire.

Le nombre de catégories de productivité que l'on considère n'est pas limité.

Ces méthodes basées sur l'étude de la croissance en hauteur peuvent être appliquées aux diverses essences de peuplements mélangés mais équiennes.

#### E) UTILISATION DE LA HAUTEUR MOYENNE ET DE L'INDICE DE STATION COMME CRITERES DE STATION

Ainsi que nous l'avons vu page 255, l'utilisation de la hauteur comme critère de station est d'inspiration européenne. La hauteur moyenne (moyenne de Lorey ou estimations analogues) a servi à définir les classes établies dans de nombreuses tables de productivité (FLURY 1907 - FOGGIE 1944 - SCHWAPPACH 1912 - WIEDEMANN 1932 et 1949).

La méthode de l'indice de station a été conçue aux Etats-Unis d'Amérique (FROTHINGHAM 1918 et 1921 - ROTH 1918 - WATSON 1917), et ensuite étudiée et appliquée par de très nombreux auteurs, principalement dans son pays d'origine.

L'utilisation comme critère de station de la hauteur moyenne ou de l'indice de station indépendamment de la croissance en volume ne peut servir qu'à établir un classement des stations selon leur fertilité, et ne donne aucun renseignement sur leurs possibilités de production. C'est pour remédier à cet inconvénient que l'on envisage souvent simultanément la croissance en hauteur et la croissance en volume : dans ces conditions, la productivité exprimée par la hauteur ne se substitue pas entièrement à la productivité exprimée par le volume : au contraire, l'étude de la croissance en hauteur établit alors la liaison entre le peuplement réel et le peuplement théorique, défini par les tables de productivité.

## II. AUTRES DEFINITIONS DE L'INDICE DE STATION : METHODES DERIVEES

### *Principe*

La notion d'indice de station a été élargie par de nombreux auteurs qui ont appliqué cette appellation à d'autres méthodes de caractérisation de la productivité, basées comme l'indice de station sur la hauteur moyenne d'une partie du peuplement.

## A) QUELQUES METHODES DERIVEES

1° L'utilisation comme critère de station de la *hauteur moyenne* (moyenne arithmétique) *des plus gros bois* permet d'éviter de devoir distinguer sur le terrain les arbres dominants et codominants : la différenciation exacte des strates, par application d'une définition précise, est souvent plus délicate et plus subjective qu'il ne semble a priori.

WIEDEMANN (1936) propose de considérer la hauteur correspondant à la surface terrière moyenne des arbres de diamètre supérieur à 10 centimètres : cette valeur serait pratiquement indépendante de l'intensité et aussi du mode d'éclaircie (éclaircie par le haut ou par le bas).

D'autres forestiers préconisent comme critère de station la hauteur moyenne d'une certaine proportion ou d'un certain nombre des plus gros bois (BADOUX 1939 - PRODAN 1951 - WIEDEMANN 1936) (\*). FOGGIE (1944) souligne les possibilités d'application en Europe d'une méthode employée aux Indes : le critère utilisé (« top height ») est la moyenne arithmétique de la hauteur des 100 plus gros bois par acre ou des 10 plus gros bois par dixième d'acre, à l'exclusion des arbres de conformation défectueuse. Pour plusieurs résineux croissant en Angleterre, la hauteur totale ainsi définie est en corrélation très étroite avec la hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne, de telle sorte que ces deux caractéristiques donnent des estimations également intéressantes comme critère de station.

2° Le Comité de l'Union internationale des Instituts de Recherche forestière (DELEVOY 1945 - FABRICIUS et al. 1936) considère comme critère de fertilité la *hauteur totale sur la courbe des prédominants correspondant sur l'échelle des abscisses à la surface terrière moyenne du peuplement*. Cette estimation correspondrait à la hauteur moyenne totale maximum du peuplement.

Une définition analogue a été proposée par COILE (1948) : le critère appliqué à deux espèces américaines de pin est la hauteur sur la courbe des dominants et codominants correspondant à la surface terrière moyenne des dominants et codominants.

3° Afin d'éviter les calculs imposés par l'utilisation d'un âge de référence, SHOW (1925) et DONAHUE (1940) considèrent comme critère de station la *hauteur totale moyenne des dominants et codominants à maturité*.

4° DUBOIS (1951) semble montrer pour les pessières du Plateau des Tailles qu'il n'y a pas de différence significative entre la *hauteur totale de l'arbre dominant* et la hauteur totale moyenne de dix domi-

---

(\*) Les auteurs de langue allemande confondent volontiers sous la dénomination de *Oberhöhe* ces diverses définitions de la hauteur du peuplement dominant, ainsi d'ailleurs que l'indice de station au sens propre. (Etter 1949 - Prodan 1951).

nants, dans des stations de surface réduite. L'utilisation de la hauteur d'un arbre dominant avait déjà été proposée par WATSON (1917). La précision de cette méthode est sensiblement réduite par les erreurs qui entachent généralement les mesures de hauteur, principalement pour les feuillus et pour les résineux âgés à cime aplatie.

5° Dans les *futaies jardinées*, il faut considérer, indépendamment de l'âge, la hauteur moyenne des arbres exploitables, des arbres dominants arrivés à maturité ou d'une certaine proportion des plus gros bois (BRUCE et SCHUMACHER 1950 - PRODAN 1949).

6° Pour les *taillis sous futaie* à réserve abondante, DELEVOY (1936) propose d'utiliser comme critère de station la hauteur totale moyenne des bois de 40 centimètres de diamètre, car il constate pour les tiges de cette dimension que les différences de hauteur entre les classes de productivité sont très élevées et que l'accroissement courant en hauteur atteint son maximum.

Dans le choix de l'âge de référence utilisé pour établir l'indice de station (au sens strict), il serait intéressant de se rapprocher de la même manière de la période où la différenciation entre des niveaux voisins de productivité est la plus facile et la plus précise.

#### B) VALEUR ET UTILISATION DES METHODES DERIVEES

1° Les différents critères de station définis ci-dessus semblent être aussi intéressants que l'indice de station ou la hauteur moyenne de Lorey. La validité de ces méthodes est souvent parfaitement démontrée, mais aucune d'entre elles n'a été utilisée dans un grand nombre de cas : l'indice de station et la hauteur moyenne restent les deux seules méthodes d'application générale.

2° Il est évident que les différents critères ne donnent pas pour un même degré de fertilité des résultats absolus identiques. Lorsque l'on veut comparer les valeurs obtenues par deux méthodes, il faut estimer un facteur correctif. Il est parfois renseigné par les auteurs (FOGGIE 1944 - WIEDEMANN 1936), mais, dans d'autres cas, il faut s'efforcer de le calculer à l'aide de mensurations effectuées dans les peuplements ou à l'aide de tables, notamment à l'aide de tables de répartition des tiges en catégories de grosseur (Déciles de Jedlinski : JEDLINSKI 1932 - BOUDRU 1952 et 1954) et de tables donnant la relation entre les catégories de grosseur et de hauteur (GRUNDNER et SCHWAPPACH 1952 - WIEDEMANN 1936) (\*).

(\*) Cette méthode d'estimation d'un facteur correctif sera appliquée au cours de la deuxième partie.

## 2. Etude de caractéristiques autres que la hauteur

(Delevoy 1945 - Etter 1949 - Wiedemann 1950-51)

### A) VOLUME

1° *Volume total et accroissement moyen en volume total* (p.p. + p.i.): Cf. méthodes directes.

2° *Le volume du peuplement principal*, dépendant plus du traitement que de la station, n'est pas utilisable comme critère de fertilité. *Le taux d'accroissement en volume* dépend également de facteurs artificiels.

3° Dans les parcelles sous-stockées de certaines chênaies américaines, la méthode classique de l'indice de station s'avère inadéquate du fait du ralentissement de la croissance en hauteur et de la rapidité de la croissance en diamètre. GEVORKIANTZ et SCHOLZ (1944) équilibrent ces deux tendances en utilisant comme critère de station le *volume moyen de l'arbre dominant*.

### B) NOMBRE DE TIGES

La densité du peuplement, exprimée par le nombre de tiges à l'hectare, ne peut servir de critère de station : elle est fortement influencée par le mode de traitement.

### C) DIAMETRE

1° Le *diamètre moyen* du peuplement principal ou du peuplement total dépend certes de la qualité de la station, mais aussi du traitement. Le diamètre moyen peut toutefois être utilisé comme critère de fertilité dans certains cas tout à fait particuliers (DUERR et GEVORKIANTZ 1938).

2° *L'accroissement en diamètre* est influencé par l'éclaircie et par les conditions climatiques. Il constitue néanmoins un critère valable pour les systèmes forestiers dans lesquels la concurrence est faible ou nulle au sein de la strate arborescente : pour les réserves de taillis sous futaie, par exemple, la qualité de la station peut être caractérisée par l'accroissement annuel moyen des arbres d'élite parvenus au terme de leur exploitabilité (BOUDRU 1953-54).

3° CAJANUS (1914) s'appuyait pour comparer la valeur des stations forestières sur les caractéristiques de la *distribution des tiges en catégories de grosseur* (moyenne, nombre de tiges, dispersion, asymétrie). Ultérieurement, la méthode des déciles de Jedlinski a permis d'apprécier des différences de productivité entre des stations occupées par des peuplements de même essence et de même âge (BADOUX 1939 - BOUDRU 1952 et 1954 - JEDLINSKI 1932).

#### D) SURFACE TERRIERE

1° Les variations de la *surface terrière du peuplement principal* en fonction du traitement semblent au moins aussi importantes que les variations du diamètre moyen.

2° Par contre, la *surface terrière du peuplement total* pourrait éventuellement servir de critère de station.

3° De même que l'accroissement en diamètre, l'accroissement en *surface terrière* est influencé par le mode de traitement et par les conditions climatiques.

#### E) COEFFICIENT DE FORME

Différents coefficients ou facteurs de forme ont été définis par les forestiers (BRUCE et SCHUMACHER 1950 - DELEVOY 1945 - PRODAN 1951). Ils sont généralement en relation avec la productivité de la station, mais dépendent aussi fortement du mode de traitement.

#### F) ESTIMATION DE LA PRODUCTION. VALEUR ET UTILISATION DE CES METHODES

Les caractéristiques envisagées sont donc fréquemment en relation avec la production du peuplement ou la productivité de la station. Cependant, contrairement à ce que l'on peut admettre sous certaines conditions pour la hauteur, la relation dépend elle-même du mode de traitement et aussi de l'âge du peuplement ou de la qualité de la station. En général, il est donc difficile d'estimer la production ou la productivité par l'intermédiaire de caractéristiques autres que la hauteur. C'est pourquoi ces méthodes ne sont applicables que dans certains cas particuliers auxquels elles doivent être préalablement adaptées.

### b. METHODES BASEES SUR L'ETUDE FLORISTIQUE DE LA STATION

#### *Principe*

La dispersion naturelle des espèces végétales est en relation plus ou moins stricte avec certains facteurs du milieu. Cette constatation, acquise de longue date, a permis d'établir des classifications écologiques des forêts, basées sur la composition floristique soit du peuplement, soit du sous-bois, soit de toute la communauté (peuplement et sous-bois). Pour les différents types que distinguent ces classifications, il est possible de donner une estimation de la productivité moyenne.

#### 1. Les types forestiers de Cajander

(Cajander 1926 et 1943 - Schaeffer 1944)

Parmi les classifications en types forestiers, la méthode de Cajander est la plus connue : depuis près de cinquante ans, elle se développe

parallèlement à la méthode des classes de productivité, et elle a permis d'établir une systématique valable des stations forestières boréales.

#### A) PRINCIPE

Cajander reproche aux méthodes basées sur l'étude quantitative des peuplements (méthodes directes et indirectes) de caractériser les stations uniquement au point de vue d'un peuplement composé d'une ou de quelques essences : les valeurs obtenues par ces méthodes sont les résultantes du complexe station + peuplement, et non des valeurs caractéristiques de la station elle-même.

D'après Cajander, la végétation naturelle est la seule base de *classification générale des stations forestières*. La méthode des types forestiers aurait en outre l'avantage de mettre en évidence des distinctions naturelles et non des abstractions graphiques telles, par exemple, les classes de productivité.

#### B) DEFINITION DES TYPES FORESTIERS

Par définition, appartiennent à un même type toutes les stations colonisées sous des peuplements d'âge mûr et normalement denses par une végétation de même composition floristique, ainsi que toutes les stations s'écartant accidentellement et momentanément du type (par incendie, chablis, pâturage, etc.) de telle sorte que le retour au type fondamental se réalise dès que la cause accidentelle a cessé d'agir.

Des différences permanentes et importantes séparent les différents types ; des différences permanentes et secondaires distinguent les *sous-types*.

Chaque type forestier comprend un certain nombre d'*associations* définies par la fréquence et l'abondance des espèces, dans le peuplement et le sous-bois, en fonction des conditions écologiques momentanées. Toutes les associations d'un même type ont la même *fertilité potentielle*, car sous des conditions analogues (peuplements d'âge mûr et normalement denses), elles tendent à revenir à une même composition floristique.

#### C) VALEUR ET UTILISATION DE LA METHODE DE CAJANDER

1° La méthode des types forestiers de Cajander est spécialement adaptée à l'étude des forêts boréales, *forêts naturelles* de grande étendue au sein desquelles les variations d'altitude, de géologie et de climat sont relativement progressives. Malgré cela, les types y sont généralement séparés par des limites nettes, indiquées notamment par des modifications des conditions de concurrence entre espèces végétales et par des conditions particulières de compétition entre types voisins.

2° Dans les *forêts remaniées ou artificielles*, la détermination des types forestiers devient difficile mais, selon Cajander, serait toujours possible. Seule la végétation herbacée doit alors être considérée.

ILVESSALO (1929) s'est efforcé d'établir selon la méthode de Cajander une classification des types forestiers du Canada et du nord des Etats-Unis. Divers autres essais d'application de la méthode finlandaise ont été tentés en dehors de la forêt boréale, sans grand succès, semble-t-il (HEIMBURGER 1934 - JAGER GERLINGS 1947 - SCHAEFFER 1944 - WIEDEMANN 1950-51 - F.A. 9-1956 et 11-3412).

## 2. Diverses définitions des types forestiers

(Heimburger 1934 - Jager Gerlings 1947)

L'expression *type forestier* a été utilisée par de nombreux forestiers, et s'applique de ce fait à des notions parfois très différentes.

a) *En Russie*, une étude consacrée aux types forestiers a été effectuée, avant la parution des travaux de Cajander, par Morosov. Dakutschajew, Sukatschew et d'autres ont poursuivi les recherches entreprises.

b) *Aux Etats-Unis d'Amérique*, plusieurs tendances se sont fait jour. Au point de vue économique, les forestiers praticiens ont défini des types forestiers d'une manière conventionnelle en fonction de la composition des peuplements. Chaque type constitue une unité sylvicole sur toute l'étendue de laquelle un même traitement peut être appliqué, mais dont la production n'est pas constante : au sein de chaque type, la qualité de la station est définie par la méthode classique de l'indice de station (BAKER 1934).

D'autres chercheurs ont souligné les inconvénients de cette méthode et l'intérêt de baser la distinction entre types forestiers sur la végétation basse, en utilisant la notion de plantes indicatrices (KORSTIAN 1917 et 1919 - RICC 1929).

c) *En Europe occidentale*, diverses études ont été consacrées aux relations entre la production et les groupements végétaux forestiers, définis essentiellement en fonction de la végétation herbacée. Bornebusch, par exemple, met en évidence une corrélation entre la croissance et la végétation herbacée des hêtraies danoises (HEIMBURGER 1934). DUCHAUFOUR et MILLISCHER (1954) indiquent dans les sapinières vosgiennes une relation entre l'accroissement annuel en volume et les types de végétation, définis par la composition floristique du sous-bois.

D'autres auteurs, au cours de la description de communautés forestières, estiment rapidement leur fertilité moyenne soit par un chiffre de production, soit par un chiffre de hauteur atteinte (BROWN 1953 - NOIRFALISE 1948-1949 - REICHLING 1951 - F.A. 7-769, 8-770, 12-839, 13-535 - etc.), ou encore, mettent la production et la composition floristique en relation avec certains facteurs écologiques (HARTMANN 1926).

### 3. Estimation de la fertilité

ILVESSALO a étudié, dans 467 parcelles d'essai de la Finlande méridionale, la relation entre les types forestiers de CAJANDER et les caractéristiques des peuplements : diamètre, surface terrière, nombre de tiges, volume, différentes expressions de l'accroissement et, aussi, hauteur moyenne des dominants (CAJANDER 1926). A ces divers points de vue, le développement des peuplements diffère d'un type à l'autre et varie relativement peu à l'intérieur d'un même type. En conséquence, ILVESSALO utilise les types forestiers comme critère de fertilité dans l'établissement de nouvelles tables de productivité pour la forêt boréale mélangée de pin sylvestre, épicéa et bouleau. Des études analogues ont été entreprises par d'autres auteurs nordiques (JAGER GERLINGS 1947).

D'une manière générale, il est possible d'estimer à l'aide de parcelles permanentes la *productivité moyenne de chaque groupement* (type forestier, association végétale, etc.) et l'amplitude des variations de productivité à l'intérieur d'un même groupement. La fertilité des stations typiques sera supposée égale à la fertilité moyenne du groupement. Pour des stations intermédiaires entre deux ou plusieurs groupements, il faudra interpoler entre les valeurs des fertilités moyennes.

Les méthodes basées sur l'étude floristique des stations donnent donc une échelle discontinue de productivité dont le nombre de niveaux, égal au nombre de groupements, est imposé par l'observation.

### 4. Conclusions

La composition floristique de la station et plus particulièrement du sous-bois peut guider le forestier dans l'estimation de la qualité des peuplements. Que les groupements considérés répondent aux notions de types forestiers, de types de végétation, d'associations végétales, etc., s'ils ont une signification écologique réelle, ils peuvent utilement servir de critères de productivité.

#### c. METHODES BASEES SUR L'ETUDE DE FACTEURS ECOLOGIQUES

##### *Principe*

Il est généralement admis que la capacité de production d'une station est limitée par certaines propriétés qui y sont relativement les plus défavorables : la *loi du minimum* de Liebig peut ainsi être étendue à tous les facteurs écologiques (BAKER 1934 - CAJANDER 1926 et 1943).

Pour un certain nombre de places d'essai, on étudie la corrélation entre la production en volume (ou un critère de station valable, tel l'indice de station) et un ou plusieurs facteurs écologiques supposés limitants. Si la corrélation est suffisamment étroite, il est possible d'estimer la fertilité de stations analogues à partir des facteurs considérés.

### 1. Facteurs climatiques (Climat général)

Pour certaines essences forestières plastiques et dont l'aire de dispersion est étendue, il est nécessaire de distinguer plusieurs domaines de croissance, dans lesquels les peuplements réagissent différemment aux conditions climatiques de croissance (FLURY 1907 - MITCHERLICH 1950 - WIEDEMANN 1950-51). A plus petite échelle, et pour des essences plus stables, les modifications du climat général n'influencent que faiblement les conditions de végétation, relativement aux variations des conditions climatiques locales.

Certains auteurs américains font néanmoins intervenir la pluviosité dans le calcul de l'indice de station, en relation avec l'altitude et certains facteurs édaphiques (Cf. p. 273).

### 2. Facteurs topographiques

L'influence indirecte de la topographie sur la végétation est très sensible : elle modifie notamment les conditions microclimatiques (altitude, exposition, vents) et, aussi, l'évolution et le régime hydrique des sols.

Dans les hêtraies anglaises, BROWN (1953) considère que la croissance est en relation plus étroite avec le climat local qu'avec les conditions géologiques et édaphiques (action importante des vents). MERZ (1953) estime l'indice de station de *Quercus alba* dans le sud-est de l'Ohio en fonction de l'exposition, de la pente et de la profondeur du profil. TARRANT (1950) met en évidence une différence significative de l'indice de station entre les peuplements de Douglas situés en topographie concave (bas de versant, vallées) et convexe (sommets de versants, crêtes).

### 3. Facteurs édaphiques

De nombreuses études ont été consacrées à l'influence des facteurs édaphiques sur la croissance des peuplements forestiers : nous n'envisageons ici que l'étude de relations étroites permettant d'estimer la fertilité d'une station à l'aide des résultats de quelques déterminations analytiques.

1° *Les propriétés chimiques* de la roche-mère et du sol ont été considérées en premier lieu. Au cours de l'étude des types forestiers boréaux, ILVESSALO (1923) met en évidence la signification des corrélations entre l'accroissement des trois essences fondamentales (épicéa, pin sylvestre, bouleau) et divers facteurs pédologiques (quantité de matière organique, d'azote, de potassium, de calcium). Des résultats analogues ont été obtenus dans certains cas par d'autres auteurs (LUNT 1939).

Dans les chênaies du sud-ouest du Wisconsin, le volume moyen des dominants et codominants, considéré comme le meilleur critère de sta-

tion, est en relation très étroite avec les bases échangeables (Total replaceable bases). Ce facteur constitue à la fois un excellent indice de la carence nutritive des sols sableux et de l'excès de carbonate présent dans les sols sur calcaire (YOUNGBERG et SCHOLZ 1949).

2° Il apparaît, à l'examen de la littérature, que les facteurs généralement considérés comme limitant la production sont, en premier lieu, le facteur hydrique et, secondairement, la composition de la roche-mère (LUNT 1939). Dans les sols suffisamment riches, il s'avère donc indispensable d'étudier l'alimentation en eau, dépendant principalement des propriétés physiques (TARRANT 1949).

COILE a examiné de manière détaillée les peuplements de pins (*Pinus echinata* et *P. taeda*) de la Caroline du nord, de la Caroline du sud et de l'Alabama. Parmi les nombreuses caractéristiques édaphiques envisagées, seules l'épaisseur de l'horizon A et l'eau d'imbibition de l'horizon B sont en relation étroite avec l'indice de station. Celui-ci peut être estimé avec une erreur moyenne de 8 %, à l'aide des formules de régression suivantes :

$$SI_e = 77.32 - \frac{45}{X_1} - 1.00 X_9$$

et  $SI_t = 100.04 - \frac{75}{X_1} - 1.39 X_9$  où  $SI_e$  et  $SI_t$  sont les indices de station de *Pinus echinata* et *P. taeda*,  $X_1$  l'épaisseur de l'horizon A, et  $X_9$  l'eau d'imbibition de l'horizon B. Les facteurs choisis étant facilement mesurables sur le terrain, la méthode proposée est trois fois plus rapide que la méthode classique de détermination de l'indice de station (COILE 1948 - COILE et SCHUMACHER 1953). Dans des conditions analogues, GAISER (1950) obtient une estimation aussi précise de l'indice de station en considérant la profondeur du profil et l'eau d'imbibition de l'horizon le moins perméable (\*).

Dans la région pacifique américaine, le développement du Douglas vert (*Pseudotsuga taxifolia* var. *viridis*) est entravé par les facteurs suivants : texture, profondeur du profil (pour les profils limités par un horizon induré ou par la roche-mère cohérente affleurant à faible profondeur) et précipitations, facteurs à partir desquels il est possible de calculer une estimation de l'indice de station (GESSEL 1949 - GESSEL et LLOYD 1950). A ces facteurs, CARMEAN (1954) ajoute encore l'altitude.

Des études semblables ont également été entreprises en Europe. Pour le pin sylvestre sur sols de moraine, la pierrosité (pourcentage d'éléments de grosseur supérieure à 2 centimètres) est le principal facteur limitant, en corrélation négative avec la fertilité des stations (VIRO 1947). TAMM et WADMAN (1945) ont recherché dans la forêt

(\*) La possibilité d'estimer la productivité à l'aide de méthodes aussi simples est due à la grande uniformité des pineraies considérées, au point de vue des conditions climatiques et édaphiques.

boréale, la relation entre la composition des peuplements et la qualité de la station d'une part, divers facteurs écologiques d'autre part. Les facteurs limitants sont, ici encore, le régime hydrique (pluviosité, topographie, texture) et la roche-mère.

Parmi les nombreux autres travaux qui soulignent l'importance de la profondeur, de la texture et de l'alimentation en eau des horizons superficiels ou du profil, citons encore quelques références : F.A. 9-2608, 9-2629, 10-2342, 10-3016, 12-2529, 13-4093, 13-4094, 15-2748.

3° Quant aux *types de sols*, leur signification au point de vue de la productivité est très variable. Certains types, définis d'après certains critères, sont en relation très étroite avec la productivité. Selon d'autres définitions, la productivité varie autant à l'intérieur d'un même type qu'entre des types différents, notamment parce que les critères de définition ne sont pas des facteurs limitants, ou du fait de l'équivalence biologique de types de sols différents (LUNT 1939 - YOUNGBERG et SCHOLZ 1949).

#### 4. Valeur et utilisation des méthodes basées sur l'étude de facteurs écologiques

Les méthodes basées sur l'étude de facteurs écologiques ne sont pas générales : chacune d'entre elles ne peut être utilisée que dans le milieu en fonction duquel elle a été conçue et aucune transposition ne peut être effectuée sans y consacrer une étude approfondie. Dans les limites ainsi définies, l'étude de facteurs écologiques peut aider le forestier à établir une classification économique des forêts.

L'intérêt principal de ces méthodes réside dans leur applicabilité en vue de boisements ou de reboisements : en l'absence de peuplement, aucune mensuration dendrométrique ne peut être effectuée, et il est souvent difficile de mettre en évidence la florule caractéristique d'un groupement forestier donné (SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS 1923).

#### d. METHODES DIVERSES

Nous citerons ici quelques facteurs très divers qui ont été considérés en vue de leur application à la détermination de la productivité et à la classification des stations forestières.

Parmi les premiers forestiers ayant envisagé ce problème, DE PERTHUIS a tenté, au début du XVIII<sup>me</sup> siècle déjà, de caractériser la qualité des peuplements par la *longueur des pousses annuelles* à un âge de référence (SCHAEFFER 1944).

Pour *Populus tremuloides* dans le Wisconsin et le Minnesota, STOECKELER (1948) envisage la possibilité de déterminer la productivité en fonction de la *fréquence des incendies* et de certaines propriétés

édaphiques ; l'indice de station serait également en relation avec la hauteur atteinte par *Pteris aquilina*.

Dans les pineraies de *Pinus taeda* de Caroline, COOPER (1942) établit une relation entre l'indice de station et le *degré d'érosion* de l'horizon A : cette caractéristique se présente comme un excellent facteur synthétique des propriétés du sol.

D'autres méthodes encore ont été proposées (DONAHUE 1940 - F.A. 11-2379, 15-550, etc.).

### III. Discussion et conclusions

#### a. BUT ET INTERET DES DIFFERENTS CRITERES DE STATION

Lorsque l'on compare les différents critères de station, il ne faut pas perdre de vue que toutes les méthodes ne poursuivent pas essentiellement le même but et ne sont pas adaptées aux mêmes conditions d'application.

##### 1. Etendue considérée

L'étude des types forestiers établis par la méthode de Cajander ou par la méthode du Service forestier américain (types forestiers économiques) envisage le cas de forêts de très grande surface : les unités de végétation définies par ces systèmes de classification sont plus étendues que les associations végétales telles que nous les considérons et entre lesquelles nous cherchons à établir des distinctions. Pour mettre celles-ci en évidence, la méthode des classes de productivité et l'étude de la croissance en hauteur sont particulièrement utiles.

Le Service forestier américain a d'ailleurs appliqué la méthode de l'indice de station à l'intérieur des différents types forestiers, et Cajander aussi a cherché le moyen de mettre en évidence de faibles différences de productivité : après avoir contesté la valeur de la hauteur comme base de classification des stations forestières, il constate, sauf dans quelques cas exceptionnels, que les dominants atteignent une plus grande hauteur dans des forêts plus productives et que le maximum d'accroissement en hauteur y est plus élevé et plus précoce. Il considère également que la distribution des tiges en catégories de grosseur est un excellent critère de station, au sein d'un même type (BULL 1931 - CAJANDER 1926).

##### 2. Productivité actuelle et potentielle

Les méthodes directes et indirectes basées sur l'étude quantitative du peuplement permettent d'apprécier uniquement la fertilité d'une station au point de vue de l'essence qui l'occupe. Tout au plus peut-on

admettre que, dans des forêts non remaniées, le développement atteint par les essences naturelles définit la *fertilité potentielle* (naturelle) de la station et, aussi, que la *fertilité actuelle* (artificielle) n'est indiquée convenablement que par des espèces bien adaptées aux conditions écologiques de la station (KORSTIAN 1919). De toute façon, ces méthodes ne permettent pas de comparer entre elles des stations occupées par des essences différentes, ni d'établir une classification unique des stations forestières considérées en elles-mêmes, indépendamment du peuplement et du mode de traitement.

Par l'application de sa théorie des types forestiers, CAJANDER prétend mettre sur pied une telle classification, sans envisager, semble-t-il, de prouver d'abord son existence et son intérêt au point de vue sylvicole. Quoi qu'il en soit, CAJANDER a le mérite d'établir un système capable d'estimer la fertilité potentielle des stations : il groupe en effet dans un même type tous les peuplements qui, dans les mêmes conditions d'âge et de densité, ont la même composition floristique.

Dans les forêts fortement modifiées par l'homme, il est difficile de déterminer les possibilités de revenir aux conditions naturelles de peuplement, et donc de définir les types forestiers (de Cajander) auxquels appartiennent les stations considérées. La limite entre *différences momentanées* (différences entre associations d'un même type) et *différences permanentes* (différences entre types) n'est d'ailleurs pas strictement définie. De ce fait, il serait vain, dans l'état actuel de nos connaissances, de vouloir chiffrer la fertilité potentielle de toutes nos forêts : comme nous l'avons dit dans l'introduction, il paraît d'ailleurs plus intéressant de disposer d'une estimation exacte de la fertilité actuelle et des modifications qu'elle peut subir dans un proche avenir.

Remarquons aussi que la productivité actuelle renseignée par l'étude des peuplements, et notamment par l'étude de la hauteur, est en fait une moyenne de la productivité actuelle au cours de la période écoulée pendant la croissance des arbres que l'on mesure, alors que l'estimation donnée par l'étude floristique du sous-bois semble être une valeur plus instantanée, plus strictement actuelle : si l'on admet que le peuplement et le sous-bois évoluent parallèlement dans le temps sous l'action des facteurs écologiques, il faut aussi admettre qu'il existe un retard dans l'évolution du premier par rapport à l'évolution du second (COILE 1938).

### 3. Intérêt des tables de productivité

(Flury 1907 - Wiedemann 1932 et 1950-51)

Le but des tables de productivité n'est pas uniquement d'établir un classement des peuplements au point de vue de leur fertilité. A tout moment, elles interviennent dans la gestion des forêts, notamment dans le choix de la révolution et du mode de traitement (intensité et périodicité des éclaircies). Elles complètent également les connaissances acquises au sujet de la croissance des espèces botaniques.

Si même les distinctions établies entre les classes de productivité ne correspondent à aucune distinction naturelle, les tables apportent malgré tout des éléments importants en ce qui concerne la connaissance des caractéristiques normales de quelques niveaux de fertilité, et il est toujours possible d'interpoler entre ceux-ci pour se rapporter à des situations réelles rencontrées en pratique. On peut aussi établir des tables de productivité sur des bases naturelles, en faisant correspondre les différentes classes à différents groupements végétaux.

Il faut savoir interpréter les données théoriques des tables de façon à les adapter aux conditions pratiques, sans surestimer ni sous-estimer leur valeur. Considérées ainsi, les tables de productivité s'avèrent être très utiles, voire indispensables à la gestion raisonnée des forêts.

#### **4. Comparaison des méthodes basées sur l'étude des peuplements et des méthodes basées sur l'étude de facteurs écologiques**

Les méthodes indirectes basées sur l'étude quantitative des peuplements tendent à étudier uniquement un critère synthétique de fertilité, indépendamment des facteurs déterminants. Par contre, les méthodes basées sur l'étude de facteurs écologiques supposent connus ou recherchent les principaux facteurs limitant la production : elles sont moins générales et destinées plutôt à être appliquées après d'autres méthodes, lorsque la productivité est connue, afin d'en rechercher les facteurs et d'en trouver une méthode rapide d'estimation.

#### **5. Production en bois d'œuvre, production en argent**

Certaines méthodes de classification économique des stations forestières utilisent comme point de comparaison la production totale (peuplement principal + peuplement intermédiaire) ou l'accroissement annuel moyen en volume, indépendamment de la répartition dans les différentes catégories commerciales. Il y aurait lieu d'estimer, parallèlement à la production totale en volume, la production des principales catégories (sciage, bois de mine, bois de feu, etc.), et même de préciser, autant que possible, la production en argent, en fonction de l'exploitabilité choisie (exploitabilité économique, commerciale, ou autre). Il serait déjà intéressant d'ajouter au chiffre caractéristique de la classe de productivité (I, II, ...) un indice renseignant par exemple le terme d'exploitabilité (dimensions des bois exploitables) ou le pourcentage des bois de faibles dimensions prélevés en éclaircie (BOUDRU 1954 - PHILIPP 1931, d'après PRODAN 1949).

#### **b. PRINCIPALES METHODES A RETENIR**

Pour caractériser la productivité actuelle des stations forestières, les méthodes les plus intéressantes à utiliser sont à notre avis :

### 1° Méthodes générales :

- a) L'étude de la croissance des peuplements et l'établissement de tables de productivité, comme base générale d'étude et de gestion ;
- b) L'indice de station et d'autres méthodes basées sur l'étude de la hauteur, comme moyen de liaison le plus sûr entre les tables de productivité et les peuplements rencontrés en pratique ;

### 2° Méthodes particulières :

- a) L'étude des groupements végétaux, lorsque cette méthode s'est avérée suffisamment précise, c'est-à-dire lorsque la productivité est en relation suffisamment étroite avec les groupements, notamment pour pallier au manque de bois âgés susceptibles de donner par leur hauteur une estimation de la fertilité (cas des coupes forestières et des terrains à boiser) ;
- b) Des méthodes basées sur l'étude de caractéristiques autres que la hauteur et sur l'étude de facteurs écologiques, dans les cas particuliers où leur valeur est bien assurée.

Soulignons que les méthodes dites particulières peuvent, dans des circonstances bien précises, être aussi intéressantes ou même plus intéressantes que les méthodes générales. Toutefois, elles devront être vérifiées et étalonnées dans chaque cas par rapport à ces dernières.

## B. CHOIX D'UN CRITERE DE STATION UTILISABLE DANS LES HETRAIES D'ARDENNE

### 1. Résultats acquis en Belgique

Aucune étude de la productivité stationnelle des forêts belges n'a donné de résultats généraux jusqu'à présent. Les futaies feuillues sont particulièrement déshéritées à ce point de vue : l'inventaire du matériel réservé n'est pas effectué d'une manière générale et, de plus, les dossiers de certains cantonnements ont été détruits au cours de la dernière guerre, de sorte qu'on ne dispose même pas de données précises sur l'accroissement périodique. Peu de parcelles d'essai sont établies et inventoriées régulièrement depuis une période suffisamment longue pour donner des résultats valables, et la méthode d'aménagement dite du contrôle par les courbes n'est appliquée qu'à deux séries de futaie, dont la plus importante se trouve à Hautfays : il s'agit là des seuls peuplements étendus dont on connaisse exactement la production.

Néanmoins quelques *travaux particuliers* doivent être cités. DELEVOY a étudié, notamment par la croissance en hauteur, la production de certaines forêts de Belgique : les pineraies de pin noir d'Autriche

(*Pinus nigra* Arn.) des friches calcaires de la région de Rochefort (1935), les taillis sous futaie de l'Entre-Sambre-et-Meuse (1936), les hêtraies de la Forêt de Soignes (1945 et 1949a) et les parcelles occupées par quelques variétés de pin dans différents arboretums (1949b). L'indice de station et certaines méthodes dérivées ont également été utilisés au cours de quelques études spéciales (BOURDEAU 1949 - DUBOIS 1951 - SPEETH 1950).

Une publication récente de la Station de Recherches de Groenen-daal a fourni des résultats intéressants concernant la productivité stationnelle des hêtraies d'Ardenne (REGINSTER 1955).

## 2. Choix et justification d'une méthode

Ne disposant pas de données précises et complètes relatives aux caractéristiques normales des hêtraies belges, nous devons nous référer à des tables de productivité établies à l'étranger, dans des conditions voisines de celles de nos régions.

Pour établir le lien entre ces tables et les peuplements rencontrés en Ardenne, nous adopterons un critère dérivé de l'indice de station, basé également sur l'étude de la hauteur du peuplement. Comme nous l'avons vu, seules les méthodes de ce groupe sont applicables sans vérification préalable à des peuplements aussi irréguliers que les hêtraies d'Ardenne, tout en gardant les avantages d'une grande rapidité d'application et d'une précision suffisante.

---

## INDEX BIBLIOGRAPHIQUE DE LA PREMIERE PARTIE

- ASSMANN, E. — 1949 — Zur Ertragstafelfrage - *Forstwiss. Centralbl.* **68**, 414-430.
- BADOUX, E. — 1939 — De l'influence des divers modes et degrés d'éclaircie dans les hêtraies pures - *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* **21**, 59-146.
- BAKER, E. — 1934 — Theory and practice of silviculture - Mc Graw Hill and C<sup>o</sup>, 502 pp.
- BELYEA, H. C. — 1931 — Forest mensuration - John Wiley and Sons, New-York.
- BORNEBUSCH, C.H. — 1943 — L'éclaircie danoise, son influence sur la forme et l'accroissement en valeur de la forêt de hêtre - *Intersylva* **3**, 221-242.
- BOUDRU, M. — 1952 — Considérations sur la forêt jardinée de chêne - *Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux*, **20**, 155-177.
- BOUDRU, M. — 1952-53 — Les forêts en Belgique - Inst. agron. Gembloux, notes de cours.
- BOUDRU, M. — 1954 — Questions spéciales de sylviculture - Id.
- BOURDEAU, P. — 1949 — Le pin noir d'Autriche en Belgique : écologie, sylviculture, économie - Inst. agron. Gembloux, question spéciale annexée au travail de fin d'études, 83 pp.
- BROWN, J. M. B. — 1953 — Studies on British beechwoods - *Forestry Comm., Bull.* **20**, 100 pp.

- BRUCE, D. — 1923 — Anamorphosis and its use in forest graphics - *Journ. For.* **21**, 773-783.
- BRUCE, D. — 1925 — Some possible errors in the use of curves - *Journ. agr. Res.* **31**, 923-928.
- BRUCE, D. — 1926 — A method of preparing timber-yield tables - *Journ. agr. Res.* **32**, 543-557.
- BRUCE, D. et SCHUMACHER, F. X. — 1950 — Forest mensuration - Mc Graw Hill and C°, 483 pp.
- BULL, H. — 1931 — The use of polymorphic curves in determining site quality in young red pine plantations - *Journ. agr. Res.* **43**, 1-28.
- CAJANDER, A. K. — 1926 — The theory of forest types - *Acta Forest. Fenn.* **29**, 1-108.
- CAJANDER, A. K. — 1943 — Nature et importance des types de forêt - *Intersylva* **3**, 169-209.
- CAJANUS, W. — 1914 — Ueber die Entwicklung gleichaltriger Waldbestände. Eine statistische Studie - *Acta Forest. Fenn.* **3**, 1-142.
- CARMEAN, W. H. — 1954 — Site quality for Douglas Fir in Southwestern Washington and its relationship to precipitation, elevation, and physical soil properties - *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* **18**, 330-334.
- CHAPMAN, H. H. et MEYER, W. H. — 1949 — Forest mensuration - Mc Graw Hill and C°, 522 pp.
- COILE, T. S. — 1938 — Classification of forest sites with special reference to ground vegetation - *Journ. For.* **36**, 1062-1066.
- COILE, T. S. — 1948 — Relation of soil characteristics to site index of loblolly and shortleaf pines in the lower Piedmont region of North Carolina - *Duke Univ. School of Forestry, Bull.* **13**, 78 pp.
- COILE, T. S. et SCHUMACHER, F. X. — 1953 — Relation of soil properties to site index of loblolly and shortleaf pines in the Piedmont region of the Carolinas, Georgia and Alabama - *Journ. For.* **51**, 739-744.
- COOPER, W. E. — 1942 — Forest site determination by soil and erosion classification - *Journ. For.* **40**, 709-712.
- DELEVOY, G. — 1935 — De l'influence de l'éclaircie dans les pineraies - *Bull. Soc. Centr. For. Belg.* **38**, 311-337, 416-428 et 483-489.
- DELEVOY, G. — 1936 — Considérations sur le cubage sur pied des peuplements de chêne de taillis-sous-futaie - *Bull. Soc. Centr. For. Belg.* **39**, 129-141 et 198-216.
- DELEVOY, G. — 1945 — La hêtraie sonienne dans le domaine du hêtre - *Bull. Soc. Centr. For. Belg.* **52**, 217-243 ou : *Stat. Rech. Groenendael, Trav.* n° **B/1**.
- DELEVOY, G. — 1949a — Notes sur l'éclaircie des hêtraies en Forêt de Soignies - *Stat. Rech. Groenendael, Trav. sér.* **B/4**, 94 pp.
- DELEVOY, G. — 1949b — Contribution à l'étude de quelques variétés de *Pinus nigra* Arn. en Belgique :  
 II : Les classes de productivité - *Stat. Rech. Groenendael, Trav.* n° **B/9**, 17 pp.  
 III : Esquisse de la productivité du Pin de Corse - *Id.*, n° **B/11**, 19 pp.
- DIETERICH, V. — 1924-25 — Aus den Ergebnissen von Durchforstungsversuchen in Buchenbeständen - *Allg. Forst- u. Jagdz.* 1924, 566-575 et 1925, 16-35 et 41-50.
- DONAHUE, R. L. — 1940 — Forest-site quality studies in the Adirondacks : I, Tree growth as related to soil and morphology - *Cornell Univ. Agric. Expt. Sta. Mem.* **229**, 44 pp.
- DUBOIS, J. — 1951 — Typologie des pessières de la Baraque Fraiture et ses relations avec les classes de productivité de l'épicéa - Inst. agron. Gembloux, question spéciale annexée au travail de fin d'études.
- DUCHAUFOUR, Ph. et MILLISCHER, H. — 1951 — Etude des types de végétation dans une sapinière vosgienne - *Rev. For. Franç.* 1954, 160-178.
- DUERR, W. A. et GEVORKIANTZ, S. R. — 1938 — Growth prediction in uneven-aged timber stands - *Journ. agr. Res.* **56**, 81-98.

- EICHHORN, F. — 1904 — Beziehungen zwischen Bestandeshöhe und Bestandesmasse - *Allg. Forst- u. Jadz.* **80**, 45-49.
- ERTELD, W. — 1953 — Ertragstafelauszüge für den Gebrauch in der Praxis - Neumann Verlag, Berlin, 62 pp.
- ETTER, H. — 1949 — Ueber die Ertragsfähigkeit verschiedener Standortstypen - *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* **26**, 91-151.
- FABRICIUS, OUDIN et GUILLEBAUD — 1936 — Directives pour la conduite des recherches sur la production forestière - *Union intern. Inst. Rech. for. Nancy*, 1936.
- FLURY, P. — 1903 — Einfluss verschiedener Durchforstungsgrade auf Zuwachs und Form der Fichte und Buche - *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* **7**, 1-244.
- FLURY, P. — 1907 — Ertragstafeln für die Fichte und Buche der Schweiz - *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* **9**, 1-290.
- FOGGIE, A. — 1944 — On the determination of quality class by top height instead of mean height for conifers in Great Britain - *Forestry* **18**, 28-39.
- FROTHINGHAM, E. H. — 1918 — Height growth as a key to site - *Journ. For.* **16**, 754-760.
- FROTHINGHAM, E. H. — 1921 — Classifying forest sites by height growth - *Journ. For.* **19**, 374-381.
- GAISER, R. N. — 1950 — Relation between soil characteristics and site index of Loblolly Pine in the coastal plain region of Virginia and the Carolinas - *Journ. For.* **48**, 271-275.
- GAISER, R. N. et MERZ, R. W. — 1951 — Stand density as a factor in estimating White Oak site index - *Journ. For.* **49**, 572-574.
- GALOUX, A. — 1954a — La fertilisation minérale en sylviculture - *Stat. Rech. Groenendael, Trav. sér. B*, n° **16**.
- GALOUX, A. — 1954b — Phytosociologie et applications sylvicoles - *Congrès Intern. Botan., Paris, Rapp. et Comm.*, Section 13, 31-34.
- GEHRHARDT, E. — 1930a — Eine neue (mehrteilige) Buchen-Ertragstafel an Stelle meiner Tafeln von 1909 und 1924 - *Allg. Forst- u. Jagdz.* **106**, 41-58.
- GEHRHARDT, E. — 1930b — Ertragstafeln für reine und gleichartige Hochwaldbestände von Eiche, Buche, Tanne, Fichte, Kiefer, Grüner Douglasie und Lärche - Springer Verlag, Berlin, 73 pp.
- GESSEL, S. P. — 1949 — Correlation between certain soil characteristics and site for Douglas Fir in northwestern Washington - *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* **14**, 333-337.
- GESSEL, S. P. et LLOYD, W. J. — 1950 — Effect of some physical soil properties on Douglas Fir site quality - *Journ. For.* **48**, 405-410.
- GEVORKIANTZ, S. R. et SCHOLZ, H. F. — 1944 — Determining site quality in understocked oak forests - *Journ. For.* **42**, 808-811.
- GRUNDNER, F. et SCHWAPPACH, A. — 1952 — Massentafeln zur Bestimmung des Holzgehaltes stehender Waldbäume und Waldbestände - Parey, Berlin, 216 pp.
- HARTMANN, F. K. — 1926 — Die Abhängigkeit der Höhenbonität und der Bodenflora der Kiefer vom Feinerdegehalt und Untergrund gewisser diluvialer Sandböden - *Zeitschr. Forst- u. Jagdw.* **58**, 226-255.
- HEIMBURGER, C. C. — 1934 — Forest-type studies in the Adirondack region - *Cornell Univ. agr. Exp. Sta. Mem.* **165**, 1-122, 1934.
- ILVESSALO, Y. — 1923 — Ein Beitrag zur Frage der Korrelation zwischen den Eigenschaften des Bodens und dem Zuwachs des Waldbestandes - *Acta Forest. Fenn.* **25**, 31 pp.
- ILVESSALO, Y. — 1929 — Notes on some forest site in North America - *Acta Forest. Fenn.* **34**.
- JAGER GERLINGS, J. H. — 1947 — Het waarden van de groeiplaats in de bosbouw - *Ned. Bosb. Tijdschr.* **19**, 161-173.

- JEDLINSKI, W. — 1932 — De l'utilisation des courbes de répartition de grosseur et de hauteur d'arbres, soit comme moyen d'investigation de la structure biologique des peuplements, soit pour préciser et représenter clairement les différents modes d'éclaircie. (Texte allemand). - *C-R. Cong. Union Intern. Inst. Rech. Forest.*, Nancy 1932, 275-298.
- KORSTIAN, C. F. — 1917 — The indicator significance of native vegetation in the determination of forest sites - *Plant World* **20**, 267-287.
- KORSTIAN, C. F. — 1919 — Native vegetation as a criterion of site - *Plant World* **22**, 253-261.
- LUNT, H. A. — 1939 — Soil characteristics, topography and lesser vegetation in relation to site quality of second-growth oak stands in Connecticut - *Journ. agr. Res.* **59**, 407-428.
- MAC KINNEY, A. L., SCHUMACHER, F. X. et CHAIKEN, L. E. — 1937 — Construction of yield tables for nonnormal loblolly pine stands - *Journ. agr. Res.* **54**, 531-545.
- MC ARDLE, R. E., MEYER, W. H. et BRUCE, D. — 1930 — The yield of Douglas Fir in the Pacific Northwest - U.S.D.A. Techn. Bull. 201, 74 pp.
- MERZ, R. W. — 1953 — Site index estimates made easy - *Journ. For.* **51**, 749-750.
- MITTSCHERLICH, G. — 1950 — Die Bedeutung der Wachstumsgebiet für das Bestandeswachstum von Buche, Eiche, Erle und Birke - *Forstwiss. Centralbl.* **69**, 184-211.
- MUNNS, E. N. et al. — 1926 — Report of Committee on methods of preparing volume and yield tables - *Journ. For.* **24**, 653-666.
- NOIRFALISE, A. — 1948-1949 — Premier aperçu sur l'étage du hêtre et les types de hêtraie en Haute-Ardenne - *Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux*, **17**, 76-100 ou : *Centre Rech. Ecol. et Phytosoc. Gembloux, Comm. n° 10*.
- PHILIPP, K. — 1931 — Forstliche Hilfstabellen - Karlsruhe.
- PRODAN, M. — 1949 — Einige aktuelle Fragen über die Einführung von Plenterwaldbetriebsklassen - *Forstwiss. Centralbl.* **68**, 346-354.
- PRODAN, M. — 1951 — Messung der Waldbestände - Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 260 pp.
- REGINSTER, P. — 1955 — La productivité stationnelle des hêtraies d'Ardenne - *Bull. Soc. Roy. For. Belg.* **62**, 1-8.
- REICHLING, L. — 1951 — Les forêts du grès de Luxembourg - *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* **83**, 163-212.
- RIGG, G. B. — 1929 — Using the vegetation cover as an aid in studying logged-off lands as forest sites - *Journ. For.* **27**, 539-545.
- ROTH, F. — 1918 — Another word on site - *Journ. For.* **16**, 749-753.
- SCHAEFFER, L. — 1944 — Les types de forêt de Cajander - *Rev. Eaux For.* **82**, 245-263.
- SCHWAPPACH, A. — 1912 — Ertragstabellen der wichtigeren Holzarten - Neumann Verlag, Neudamm, 81 pp.
- SHOW, S. B. — 1925 — Yield capacities of the pure yellow pine type on the east slope of the Sierra Nevada mountains in California - *Journ. agr. Res.* **31**, 1121-1135.
- SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS — 1917 — Report of the Committee of the Society of American Foresters on forest terminology - *Journ. For.* **15**, 68-101.
- SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS — 1923 — Classification of forest sites - *Journ. For.* **21**, 139-147.
- SPEETH, J. — 1950 — Corrélation entre la croissance de l'épicéa et quelques types de station en ce qui concerne les plateaux des environs de Lorcé - *Inst. agron. Gembloux*, question spéciale annexée au travail de fin d'études, 27 pp.
- STOECKELER, J. H. — 1948 — The growth of Quaking Aspen as affected by soil properties and fire - *Journ. For.* **46**, 727-737.
- TAMM, O. et WADMAN, E. — 1945 — Sur les facteurs stationnels et leur corrélation avec les conditions forestières dans le district de Hamra. (Texte suédois) - *Svenska Skogs. Tidskr., Bihang*, **2**, 79 pp.

- TARRANT, R. F. — 1949 — Douglas-Fir site quality and soil fertility - *Journ. For.* **47**, 716-720.
- TARRANT, R. F. — 1950 — A relation between topography and Douglas-Fir site quality - *Journ. For.* **48**, 723-724.
- VIRO, P. J. — 1947 — La composition granulométrique et la fertilité des sols forestiers, en considérant principalement la pierrosité. (Texte finlandais) - *Commun. Inst. For. Fenn.* **35**, p. 115.
- WATSON, R. — 1917 — Site determination, classification and application - *Journ. For.* **15**, 552-563.
- WIEDEMANN, E. — 1932 — Die Rotbuche - *Mitt. aus Forstwirt. u. Forstwiss.* 1932.
- WIEDEMANN, E. — 1936 — Ueber die Vereinfachung der Höhenermittlung bei den Vorratsaufnahmen - *Mitt. aus Forstwirt. u. Forstwiss.* **4**, 387-412.
- WIEDEMANN, E. — 1949 — Ertragstafeln der wichtigsten Holzarten - Schaper, Hannover.
- WIEDEMANN, E. — 1950-51 — Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft - Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M., 346 pp.
- YOUNGBERG, C. T. et SCHOLZ, H. F. — 1949 — Relation of soil fertility and rate of growth of mixed oak stands in the Driftless area of Southwestern Wisconsin - *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* **14**, 331-332.

---

## RESUME DE LA PREMIERE PARTIE

Les *méthodes directes* d'estimation de la productivité envisagent sans intermédiaire la croissance en volume des peuplements. Sur cette base, la méthode allemande des classes de productivité permet de distinguer cinq classes, de fertilité décroissante de I à V, dont les tables de productivité donnent les caractéristiques normales aux différents âges. On a souvent reproché à cette méthode de ne s'appliquer qu'à des peuplements purs, équiennes et normalement denses ; mais, quelque peu modifiée, elle reste le fondement, non seulement des études de productivité, mais aussi de la gestion raisonnée des forêts.

Dans les futaies jardinées, l'estimation de la fertilité se fait directement en fonction de l'accroissement annuel (ou moyen périodique) en volume.

Les *méthodes indirectes* considèrent des critères quelconques à partir desquels il est possible de définir la productivité, soit à l'aide de formules, soit en se rapportant à des tables de productivité. Les critères étudiés peuvent être groupés en trois catégories : caractéristiques quantitatives du peuplement, composition floristique de la station, facteurs écologiques.

Parmi les *caractéristiques du peuplement*, seule la hauteur totale s'avère être un critère de station applicable d'une manière générale, soit sous la forme de la hauteur moyenne pondérée par la surface terrière (moyenne de Lorey), soit sous la forme de l'indice de station (hauteur moyenne des dominants et codominants à un âge de réf-

rence), soit sous une autre forme éliminant également l'intervention des dominés dans la caractérisation de la fertilité. Par une relation exponentielle liant le volume produit à la hauteur atteinte, indépendamment de l'âge, de la qualité de la station et du traitement, il semble possible d'estimer la production totale du peuplement. L'étude de la hauteur permet aussi d'établir la liaison entre les caractéristiques théoriques des tables de productivité et celles, réelles, des peuplements.

En fonction de la *composition floristique de la station*, du sous-bois en particulier, il est possible de distinguer différents types, pour chacun desquels on estime la productivité moyenne. Le système des types forestiers de Cajander est le plus connu, mais il semble peu applicable en dehors de la forêt boréale, pour laquelle il a été conçu. D'autres définitions de groupements végétaux sont utilisables pour caractériser la productivité des forêts tempérées.

L'expérience montre que certains *facteurs écologiques*, considérés comme limitants au sens de la loi du minimum, sont en relation étroite avec la fertilité. Parmi eux, l'alimentation en eau constitue généralement le meilleur critère de station : elle dépend notamment du climat (pluviosité et évaporation), de la topographie (exposition et conditions de drainage) et des propriétés physiques du sol (texture, structure, etc.). Ces divers éléments, considérés individuellement ou en groupe, peuvent être utilisés comme critère de fertilité : par l'intermédiaire de coefficients de corrélation et de formules de régression, on estime ainsi la productivité d'une station à partir des résultats d'un petit nombre de déterminations qui y ont été effectuées.

Ces deux derniers groupes de méthodes rendent possible l'estimation de la fertilité d'un terrain à boiser ou récemment boisé, en l'absence d'arbres susceptibles d'être mesurés, et même, pour le dernier groupe, en l'absence de la végétation forestière caractéristique.

Lors de la comparaison des différents critères de station, il faut tenir compte du but poursuivi, notamment de la surface considérée et de la distinction entre productivité actuelle et productivité potentielle.

EN BELGIQUE, peu de travaux ont été consacrés à l'étude de la fertilité des peuplements forestiers. Pour déterminer la productivité des hêtraies d'Ardenne, seule une méthode basée sur l'étude de la hauteur paraît applicable et rendra possible l'utilisation de tables de productivité établies dans les pays voisins.

---

# Contribution à l'étude polarographique des cations les plus usuels

## I. POTENTIELS DE DEMI-ONDE ET COEFFICIENTS DE DIFFUSION EN MILIEUX DE BASE VARIES (\*)

par

Pierre H. MARTENS et Paul NANGNIOT

---

### I. INTRODUCTION

Malgré les notables proportions dans lesquelles se sont développées les méthodes polarographiques d'électro-analyse, la connaissance des valeurs des coefficients de diffusion des cations dans les milieux de base les plus courants s'est assez peu répandue. Et comme, les coefficients de diffusion, calculés à partir des conductibilités équivalentes limites, ne sont que des coefficients approximatifs qui ne tiennent aucun compte de la nature et de la concentration du milieu de base, il paraît plus exact de les calculer à partir de l'équation d'ILKOVIC :

$$i_d = 605 \cdot n \cdot D^{1/2} \cdot C \cdot m^{2/3} \cdot t^{1/6}$$

dans laquelle :

- $i_d$  = courant de diffusion exprimé en microampères ;
- $n$  = nombre d'électrons gagnés par le cation au cours de sa réduction sur l'électrode à goutte de mercure ;
- $D$  = coefficient de diffusion exprimé en  $\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$  ;
- $C$  = concentration du cation exprimée en millimoles/litre ;
- $m$  = masse de mercure, exprimée en  $\text{mg} \cdot \text{sec}^{-1}$  ;
- $t$  = durée de vie d'une goutte de mercure, exprimée en secondes.

---

(\*) Déposé à la rédaction le 18 mai 1956.

Les auteurs remercient M. Gustave DEMORTIER, Directeur de la Station de Physique et de Chimie agricoles à Gembloux qui leur a gracieusement fourni l'occasion de pouvoir utiliser un Polarographe Heyrovski de fabrication Sargent.

Pour une pression de mercure et un capillaire donné, pour une concentration en cation connue et une température déterminée, on pourra écrire :

$$i_d = k \cdot D^{1/2}$$

Or, la valeur de  $D$  varie avec la nature et la concentration du milieu de base; par conséquent, la hauteur de la vague polarographique d'un ion déterminé devra varier avec ces deux facteurs. Cette variation se constate en pratique; elle démontre l'incertitude des coefficients de diffusion calculés à partir des conductibilités équivalentes limites.

Toutefois, dans le cas des cations libres, la concordance entre les valeurs calculées par les deux méthodes est assez bonne. Voici à titre d'exemple, un tableau comparatif de résultats obtenus.

| Ion  | Milieu de base          | D en $\text{cm}^2.\text{sec.}^{-1/2} \times 10^5$ |                          |
|------|-------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|
|      |                         | Par les dilutions infinies (*)                    | Par l'équation l'Ilkovic |
| Cd++ | KCl 0,5M                | 0,72                                              | 0,71                     |
| Cu++ | KNO <sub>3</sub> 0,5M   | 0,72                                              | 0,76                     |
| Pb++ | NaClO <sub>4</sub> 0,5M | 0,98                                              | 0,95                     |
| Tl+  | KNO <sub>3</sub> 0,5M   | 2,00                                              | 1,90                     |
| Zn++ | KNO <sub>3</sub> 0,5M   | 0,72                                              | 0,69                     |
| Ni++ | NaClO <sub>4</sub> 0,5M | 0,69                                              | 0,72                     |

(\*) D'après Kolthoff et Lingane (5).

## II. BUTS PROPOSES

Dans le présent travail, on se propose de déterminer la valeur des coefficients de diffusion des métaux les plus usuels dans un certain nombre de milieux de base couramment utilisés en polarographie.

Par la comparaison des tableaux réunis en fin d'article, comportant notamment les variations des potentiels de demi-vague ( $E_{1/2}$ ) et les hauteurs des sauts ( $i_d$ ) en relation avec la nature des solutions de base, il devient aisé de choisir le milieu le plus adéquat pour rendre possible le dosage d'un ensemble de cations déterminés ou pour masquer la présence d'autres qui ne subissent pas de réductions dans les conditions de l'essai.

## III. CONDITIONS EXPERIMENTALES

Tous les polarogrammes sont enregistrés automatiquement au moyen d'un polarographe RADIOMETER, type PO<sub>3</sub>e, à la température de 25°C ( $\pm 0,02^\circ\text{C}$ ) et correspondent à une concentration en métal dissous

de  $1.10^{-3}M$ ; plusieurs ont été contrôlés au moyen d'un appareil de Heyrovski (fabrication Sargent, modèle 21).

La cellule utilisée pour les mesures est du type KALOUSEK; tous les potentiels de demi-vague ( $E_{1/2}$ ) sont mesurés par rapport à une électrode au calomel, normale en KCl. (N.C.E.).

La concentration en gélatine a été ajustée systématiquement dans tous les essais à la dose de 0,05 %.

La constante du capillaire,  $m^{2/3}t^{1/6}$ , mesurée dans une solution de KCl 0,1 M, a été maintenue à  $2,34 \text{ (mg}^{2/3}\text{sec.}^{-1/2}) \pm 0,06$ .

Toutes les solutions, sauf pour les métaux dont le potentiel de demi-vague est supérieur à  $-1,3$  volt, ont été désoxygénées :

- a) pour les solutions acides, barbotage de  $CO_2$  pendant 15 minutes, à la cadence de 3 à 5 bulles par seconde ;
- b) pour les solutions alcalines, addition de 1cc d'une solution fraîchement préparée de sulfite de sodium à 20 %;
- c) dans les autres cas, par barbotage d'azote préalablement privé d'oxygène, pendant 15 minutes, à la même cadence que pour  $CO_2$ .

Il n'a pas été tenu compte de la variation de  $t$  avec la nature et la concentration du milieu de base, ce facteur n'intervenant qu'à la puissance  $1/6$ .

## IV. RESULTATS EXPERIMENTAUX

### Aluminium

Le comportement polarographique de l'aluminium ne peut être étudié qu'en milieu faiblement acide. En effet, cet élément n'est pas réductible en milieu alcalin; en milieu trop acide (par exemple HCl 0,1 N) la vague de réduction  $Al^{III} \rightarrow Al^0$ , située vers  $-1,7$  volt, est perturbée par la vague de réduction des ions  $H^+$ ; en milieu neutre, l'hydrolyse ne permet pas le maintien intégral de l'aluminium en solution.

Pour éviter la compétition entre les ions  $H^+$  et  $Al^{3+}$  et obtenir ainsi une séparation suffisante des deux vagues, il faut tenir compte des deux règles suivantes :

- a) Le potentiel de réduction des ions  $H^+$  se déplace vers la gauche de 100 mV (c'est-à-dire vers les potentiels plus positifs) lorsque le pH diminue de 1 unité (2).  
C'est ainsi que dans un milieu normal en ions  $H^+$ , la réduction de ces ions a lieu vers  $-1,1$  volt; dans un milieu  $1.10^{-3} N$  en ion  $H^+$ , la réduction se produit seulement à partir de  $-1,4$  volt.
- b) La vague de l'Aluminium se déplace de 100mV vers la droite (c'est-à-dire vers les potentiels négatifs) lorsque le pH diminue d'une unité.

On aurait, d'après ces deux règles, tout intérêt à travailler en milieu fortement acide. Malheureusement, dans ce cas, la trop grande hauteur du saut dû à la réduction des ions  $H^+$  ne permet pas le dosage de faibles quantités d'aluminium.

L'acidité sera donc fixée de manière à obtenir une bonne séparation des deux vagues, tout en maintenant la hauteur de la vague de l'hydrogène à une valeur acceptable.

On peut rendre la compétition de l'hydrogène à peu près négligeable, en utilisant des solutions d'aluminium suffisamment concentrées ( $1.10^{-2}M$  par exemple) et une acidité assez faible.

Voici les valeurs trouvées, en milieu  $LiCl$   $0.5M$ , pour des solutions  $5.10^{-3}M$  en  $Al^{3+}$ .

| Conc. en $HCl$ | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu A$ ) |
|----------------|-----------------------|----------------------|
| 0,002 N        | -1,78                 | 40                   |
| 0,004 N        | -1,81                 | 41,5                 |
| 0,006 N        | -1,86                 | 39,8                 |
| 0,008 N        | -1,87                 | 40,3                 |

### Antimoine

$Sb^{5+}$  n'est réductible qu'en milieu fortement acide. Par exemple, dans  $HCl$   $4N$ , on observe, dès le début du polarogramme, une vague correspondant à la réduction  $Sb^{5+} \rightarrow Sb^{3+}$  (3).

La vague  $Sb^{3+} \rightarrow Sb^0$  qui lui fait suite, possède une forme presque idéale et convient bien au dosage de cet élément.

$Sb^{3+}$  passe directement de la valence 3 à la valence 0: cet ion est réductible, aussi bien en milieu fortement acide qu'en milieu fortement alcalin. En dehors de ces milieux, par suite de l'hydrolyse, les vagues observées sont plus faibles.

Le choix du milieu de base est commandé par la présence des autres cations. Par exemple, la vague de l'antimoine est perturbée par le cuivre en milieu acide et par le zinc en milieu alcalin. Si aucune perturbation n'est à craindre, on donnera la préférence aux milieux de bases acides, parce que la vague observée dans ces milieux fournit des paliers plus réguliers qu'en milieu alcalin.

D. Cozzi (1) relate l'existence d'une vague d'oxydation  $Sb^{3+} \rightarrow Sb^{5+}$  en milieu tartrate fortement alcalin. Nous avons effectivement obtenu

cette vague à  $-0,34$  Volt N.C.E.; de plus, on enregistre dans le même milieu la vague de réduction  $\text{Sb}^{3+} \rightarrow \text{Sb}^0$ , caractérisée par un potentiel de demi-onde de  $-1,39$  V. On obtient des résultats analogues en milieu de citrate fortement alcalin.

### Argent

L'ion argent  $\text{Ag}^+$ , réagissant avec le mercure, provoque l'apparition de la vague d'oxydation anodique de ce dernier. On ne peut dans ce cas, mesurer le potentiel de demi-saut.

La détermination polarographique de l'ion  $\text{Ag}^+$  peut être effectuée dans les milieux suivants : nitrate, perchlorate, cyanure, thiosulfate; on obtient un courant de diffusion bien défini et la hauteur du saut est mesurée à partir de la ligne zéro du galvanomètre.

### Arsenic

$\text{As}^{5+}$  ne fournit de vague de réduction dans aucun des milieux étudiés jusqu'à présent.

$\text{As}^{3+}$ , en milieu acide, produit un polarogramme compliqué, couvrant un grand domaine de potentiel. Ce polarogramme comprend deux vagues; la première, selon KACIRKOVA (4), correspond au passage  $\text{As}^{3+} \rightarrow \text{As}^0$ ; la seconde, dont le maximum très prononcé peut être supprimé par addition de bleu de méthylène, au passage  $\text{As}^0 \rightarrow \text{AsH}_3$ . Seule la hauteur de la seconde vague est proportionnelle à la concentration.

Le potentiel de demi-vague des deux sauts se déplace vers les potentiels plus négatifs, lorsque l'acidité augmente.

L'ion arsénite,  $\text{AsO}_2^-$  possède un comportement polarographique beaucoup plus simple. Nous avons obtenu une vague facilement mesurable dans les milieux suivants : oxalate ammonique demi-saturé,  $\text{LiCl}$  0,5M,  $\text{CaCl}_2$  0,5M, et  $\text{NH}_3$  0,5M- $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,5M. La hauteur du saut est proportionnelle à la concentration.

Il semble que le processus de réduction corresponde au passage  $\text{AsO}_2^- \rightarrow \text{AsH}_3$ , avec échange de 6 électrons. Les coefficients de diffusion relatifs à l'ion  $\text{AsO}_2^-$  ont été calculés en se basant sur cette hypothèse.

HEFTI (2), a d'ailleurs imaginé une méthode titrimétrique basée sur la réduction électrolytique quantitative de faibles doses d'arsénite en  $\text{AsH}_3$ .

Signalons également la possibilité d'obtention, en milieu  $\text{NaOH}$ , d'une vague d'oxydation  $\text{As}^{3+} \rightarrow \text{As}^{5+}$ , située vers  $-0,25$  volt.

### Bismuth

La valence  $+3$  étant la plus importante en analyse quantitative, a été seule étudiée.

Le bismuth passe directement de la valence +3 à la valence 0 en fournissant une vague excellente, très sensible en milieu fortement acide.

On obtient également de bons polarogrammes dans les milieux nitrate, tartrate-soude et citrate-soude.

Voici quelques valeurs, relatives à une concentration en  $\text{Bi}^{3+}$  de  $1.10^{-3}$  M.

| Milieu                              | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu$ A) |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| $\text{H}_2\text{SO}_4$ N . . . . . | -0,03                 | 15,8                |
| HCl N . . . . .                     | -0,17                 | 17,2                |
| HCl 2,5N . . . . .                  | -0,17                 | 15,8                |
| Tartrate 0,5M - NaOH 0,4M . .       | -0,99                 | 10,55               |
| Tartrate 0,25M - NaOH 2M . .        | -1,0                  | 9,0                 |
| Tartrate 0,05M - NaOH 0,5M . .      | -0,73                 | 12,1                |
| Citrate 0,35M - NaOH 2M . . .       | -0,76                 | 10,4                |

### Cadmium

Dans tous les milieux utilisés, sauf en milieu NaOH M, le cadmium donne des vagues parfaitement formées; il compte parmi les éléments dont la détermination polarographique est la plus aisée.

Le potentiel de demi-vague varie peu avec la nature du milieu de base utilisé, sauf en milieu KCN, où on observe un déplacement important de la vague vers les potentiels plus négatifs. Ce déplacement permet une séparation cadmium-plomb très aisée.

### Chrome

A son étage d'oxydation maximum, le chrome est susceptible de former trois vagues de réduction successives :  $\text{Cr}^{6+} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{Cr}^{2+}$  et  $\text{Cr}^{2+} \rightarrow \text{Cr}^0$ .

Avec l'ion chromate, on obtient une vague excellente  $\text{Cr}^{6+} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$  en milieu NaOH M et KCl 0,5M. Par contre, l'emploi de  $\text{KClO}_4$  0,5M et de  $\text{KNO}_3$  0,5M, donne lieu à l'apparition de sauts beaucoup plus faibles. Il apparaît un maximum, non suppressible par la gélatine, en présence de  $\text{NH}_3$  0,5M —  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,5M.

A partir de  $\text{Cr}^{3+}$ , on aboutit, en deux stades, à l'état  $\text{Cr}^0$  : la réduction  $\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{Cr}^{2+}$  se révèle par un saut assez fortement étalé; le passage  $\text{Cr}^{2+} \rightarrow \text{Cr}^0$  produit une onde plus raide et parfaitement délimitée sauf

en milieu KSCN 0,5M, où on obtient un maximum non éliminable par la gélatine employée aux concentrations habituelles.

On n'observe aucune vague de réduction, à partir de  $\text{Cr}^{3+}$ , dans les milieux suivants : KCN 0,5M; tartrate 0,5M; citrate 0,5M; oxalate 0,1M; NaOH N.

L'électrolyte-support  $\text{KNO}_3$  ne convient pas : le courant de diffusion issu de la réduction  $\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{Cr}^{2+}$  ne forme pas de palier convenable et ne se prête donc pas à une mesure précise; de plus, le saut  $\text{Cr}^{2+} \rightarrow \text{Cr}^0$ , se confond avec le saut de l'électrolyte de base.

### Cobalt et Nickel

Le comportement polarographique du cobalt divalent est seul étudié, cette valence étant la plus importante. Pour la même raison, le nickel ne sera considéré que sous la même forme.

La réduction a lieu, pour les deux cations, en un seul stade, par échange de deux électrons.

La séparation de ces deux métaux ne peut se réaliser polarographiquement que dans quelques milieux. On peut avantageusement utiliser dans ce but KSCN 0,5M; HEYROVSKY (3) signale l'emploi de la pyridine et de KCN. VON STACKELBERG (9) avoue ne pas avoir obtenu de séparation dans ce dernier milieu; nos constatations sont en accord avec les siennes. Ni le nickel, ni le cobalt ne fournissent une onde mesurable en milieu acide, en raison de la compétition de l'hydrogène avec ces deux métaux. Leur insolubilité dans la soude proscrit l'emploi de ce milieu.

### Cuivre

La réduction du cuivre peut, suivant les milieux de bases employés, s'opérer de deux manières différentes :

- a) Passage direct de la valence +2 à la valence 0;
- b) Réduction en deux étapes :  $\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu}^+$  et  $\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu}^0$ .

Le passage direct est observé dans les milieux de bases suivants : nitrate, perchlorate, citrate, tartrate, oxalate, acide sulfurique.

La réduction en deux étapes a lieu dans les milieux HCl, KCl, KSCN, pyridine et  $\text{NH}_3$  0,5M -  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Le courant résiduel de la première vague ne s'observant pas, il est nécessaire d'enregistrer la ligne zéro du galvanomètre, pour mesurer la hauteur du saut.

Signalons que le cuivre forme facilement des maxima, dits positifs, parce que la ou les vagues du cuivre s'observent dans un domaine de potentiel moins négatifs que -0,56 volt S.C.E., ce voltage correspondant au maximum de la courbe électrocapillaire. Ces maxima sont facilement supprimés par la gélatine, sauf en milieu HCl et tartrate neutre, où

l'emploi des doses habituelles de gélatine laisse subsister un léger maximum qui ne gêne pas une mesure précise de la hauteur du saut.

### Etain

$\text{Sn}^{4+}$  n'est réductible à l'électrode à gouttes de mercure que dans les milieux qui réalisent à la fois une forte concentration en ions  $\text{H}^+$  et  $\text{Cl}^-$  (ou  $\text{Br}^-$ ) (9). Le polarogramme de cet ion se compose de deux vagues: la première, très plate, correspond à la réduction  $\text{Sn}^{4+} \rightarrow \text{Sn}^{2+}$ , la seconde, beaucoup plus raide, au passage  $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^0$ .

L'ion  $\text{Sn}^{2+}$ , en solution dans la soude, ne fournit aucune vague.

$\text{Sn}^{2+}$  donne en milieu acide fort, une vague  $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^0$ , dont la hauteur et le potentiel de demi-vague dépendent de la concentration en acide.

En milieu citrique (ou tartrique), on obtient la vague d'oxydation anodique  $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+}$ , suivie de la vague de réduction  $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^0$ .

Voici pour une solution  $5.10^{-3}\text{M}$  en  $\text{Sn}^{2+}$ , les valeurs de  $E_{1/2}$  et de  $i_d$ , observées dans un électrolyte-support à base de citrate :

| Milieux                 | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.)                       |                                          | $i_d$<br>( $\mu\text{A}$ )                  |                                          |
|-------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
|                         | $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+}$ | $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^0$ | $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+}$ | $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^0$ |
| Citrate 0,5M - HCl 0,1N | -0,41                                       | -0,72                                    | 26                                          | 25,7                                     |
| » - HCl 1N              | -0,24                                       | -0,59                                    | 17,5                                        | 17,5                                     |
| » - NaOH 1N             | -0,90                                       | -1,20                                    | 19,4                                        | 19,1                                     |
| NaOH, 1 N . . . .       | -0,86                                       | -1,21                                    | 14,5                                        | 33,3                                     |

Les deux vagues se déplacent vers les potentiels plus négatifs, quand le pH augmente. Ce déplacement peut être mis à profit pour éliminer l'influence d'un ion gênant.

Signalons la rapide oxydation de  $\text{Sn}^{2+}$  en  $\text{Sn}^{4+}$ , surtout en milieu NaOH. Si on oxyde complètement, par le bromate de sodium par exemple,  $\text{Sn}^{2+}$  en  $\text{Sn}^{4+}$ , on n'observe aucune vague de réduction dans les milieux à base de citrate.

### Fer

$\text{Fe}^{3+}$  fournit deux vagues polarographiques: la première,  $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ , se situe, en l'absence de complexants, à un potentiel tellement positif.

qu'il est nécessaire d'enregistrer la ligne zéro du galvanomètre pour pouvoir mesurer la hauteur du saut; en présence de complexants, le potentiel de passage de l'état ferrique à l'état ferreux est fortement déplacé vers la droite (potentiels plus négatifs); selon LINGANE (7), la valeur du potentiel de demi-vague en milieu citrate est donné par la formule :

$$E_{1/2}\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} = + 0,39 - 0,108 \text{ pH}$$

Cette formule est, d'après son auteur, valable pour un intervalle de pH de 4 à 12. Voici les valeurs que nous avons trouvées dans un milieu citrate 0,5M, à différents pH. (Concentration :  $1.10^{-3}\text{M}$  en  $\text{Fe}^{3+}$ ).

| pH   | $E_{1/2}$ (S.C.E.) |         | $i_d$<br>( $\mu\text{A}$ ) |
|------|--------------------|---------|----------------------------|
|      | Trouvé             | LINGANE |                            |
| 5,6  | -0,20              | -0,205  | 3,06                       |
| 6,0  | -0,24              | -0,257  | 3,02                       |
| 6,7  | -0,31              | -0,333  | 2,76                       |
| 7,8  | -0,46              | -0,452  | 2,43                       |
| 8,3  | -0,49              | -0,505  | 1,55                       |
| 9,0  | -0,56              | -0,582  | 0,81                       |
| 10   | -0,88              | -0,695  | 2,84                       |
| 10,7 | -0,88              | -0,765  | 2,84                       |
| 11,7 | -0,89              | -0,87   | 2,94                       |

Les valeurs trouvées de  $E_{1/2}$  vérifient sensiblement la formule de LINGANE jusqu'au pH 9. A partir de pH 10, cette formule n'est pas respectée; il semble au contraire, qu'à partir de ce pH, le potentiel de demi-saut conserve une valeur constante.

En milieu tartrate 0,5M, on observe également un déplacement du potentiel de demi-vague avec le pH. Voici quelques valeurs trouvées dans ce milieu; les valeurs de  $i_d$  sont relatives à une concentration en  $\text{Fe}^{3+}$  de  $1.10^{-3}\text{M}$  (voir tableau page suivante).

A partir de pH 7,7 le palier supérieur du polarogramme est fortement redressé; la mesure des courants de diffusion ne peut s'effectuer avec précision.

En milieu oxalate, la position du  $E_{1/2}$  et la hauteur du saut varient peu avec le pH.

| pH   | $E_{1/2}$ | $i_d$ ( $\mu A$ ) |
|------|-----------|-------------------|
| 4,2  | -0,09     | 3,41              |
| 4,8  | -0,14     | 2,97              |
| 6,2  | -0,30     | 2,24              |
| 7,7  | -1,16     | 2,24              |
| 8,35 | -1,16     | 2,34              |

La seconde vague,  $Fe^{2+} \rightarrow Fe^0$ , qu'on observe en milieu non complexant, est rejetée en dehors des limites du polarogramme dans les milieux citrique, tartrique et oxalique.

On peut obtenir la vague  $Fe^{2+} \rightarrow Fe^0$ , à partir de  $Fe^{3+}$  ou de  $Fe^{2+}$ ; le saut s'enregistre au même endroit dans les deux cas, mais la forme de la vague est nettement différente, suivant qu'elle est obtenue à partir de  $Fe^{3+}$  ou de  $Fe^{2+}$ . A partir de  $Fe^{3+}$ , le palier supérieur du polarogramme se confond presque avec le saut du milieu de base: à partir de  $Fe^{2+}$ , au contraire, le courant de diffusion est parfaitement défini.

En résumé, il est possible, par l'emploi de milieux complexants ou non complexants, par variation du pH, par le choix de la forme ferreuse ou ferrique, de réaliser, dans beaucoup de cas, sans séparation préalable, le dosage du fer.

### Manganèse

La situation du manganèse dans la série des tensions interdit l'emploi de tout milieu de base acide. L'action compétitive de l'hydrogène se manifeste, même en milieu faiblement acide: il s'en suit, que la désoxygénation des solutions soumises à la polarographie ne peut être effectuée par  $CO_2$ , sous peine d'enregistrer des vagues beaucoup trop hautes, dues à la réduction simultanée de  $Mn^{2+}$  et de  $H^+$ .

En milieu  $NaOH$ , le manganèse est trop faiblement soluble et ne peut être déterminé qu'à l'état de traces.

Le manganèse donne des vagues bien définies dans la plupart des autres milieux. Il n'est pas indispensable de désoxygéner les solutions.

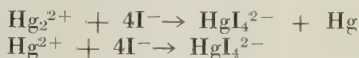
VON STACKELBERG (9) signale une oxydation facile de  $Mn^{2+}$  en  $MnO_2$  dans le milieu  $NH_3-NH_4Cl$ . On peut éviter cette oxydation, en ajoutant à la solution un peu de sulfite de soude ou de métol.

Selon KOLTHOFF et WATTERS (6), on peut, après oxydation de  $Mn^{2+}$  en  $Mn^{3+}$  par  $PbO_2$  solide en milieu pyrophosphate acide, obtenir la vague de réduction  $Mn^{3+} \rightarrow Mn^{2+}$ , dont la hauteur peut être mesurée à +0,1 v; il est alors inutile de désoxygéner la solution.

### Mercure

SCHWARTZ (8) a montré que le mercure pouvait être dosé par polarographie, bien qu'il ne soit pas possible d'obtenir de palier inférieur. Cet auteur recommande le milieu de base suivant : 20g KI + 35 g.  $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  + 50cc. d'une solution de tylose à 2 % pour 500cc. d'eau. Ce milieu convient aussi bien pour  $\text{Hg}^+$  que pour  $\text{Hg}^{2+}$ .

L'iodure réagit de la manière suivante :



Dans le cas des sels mercuriels, on observe un précipité noir, correspondant à la précipitation de la moitié du mercure; ce précipité ne gêne pas la bonne marche de la polarographie. Il n'est pas nécessaire de désoxygéner les solutions.

### Plomb

La détermination polarographique du plomb ne présente pas de difficultés. On peut, indifféremment, employer les milieux acides, neutres et alcalins.

Le plomb est précipité dans les milieux suivants : KCl, KI,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_3 \cdot \text{NH}_4\text{Cl}$ , oxalate, pyridine.

Dans KCN, sa faible solubilité ne permet son dosage qu'à l'état de traces.

### Thallium

Le thallium, appartient avec le plomb, le zinc, le cadmium et le manganèse, à la série des éléments dont le dosage par polarographie est le plus facile.

$\text{Tl}^+$  peut être déterminé en milieu acide, neutre et alcalin; cet ion est caractérisé par un coefficient de diffusion élevé ( $D=2.10^{-5}\text{cm}^2.\text{sec}^{-1}$ ) et par un potentiel de demi-vague ( $E_{1/2} = -0,50$  volt N.C.E.) pratiquement indépendant de la nature et de la concentration du milieu de base.

Aussi, le thallium peut-il être utilisé comme étalon interne, pour contrôler le potentiel de demi-vague d'autres éléments ou pour vérifier l'exactitude de l'étalonnage du potentiomètre.

### Zinc

Le zinc compte parmi les éléments dont la détermination polarographique est la plus aisée. Il fournit des vagues parfaites en milieu faiblement acide, neutre et alcalin; il n'est pas réductible en milieu KCN. En milieu fortement acide, la vague du zinc est perturbée par la réduction des ions  $\text{H}^+$ . Dans les autres milieux, le potentiel de demi-vague se déplace vers les potentiels plus négatifs quand le pH augmente.

## V. ETUDE COMPAREE DES MILIEUX DE BASE

Pour chacun des tableaux qui suivent, on a reporté les points suivants :

1. La nature du métal qui en solution à la concentration  $1.10^{-3}M$  fournit une vague polarographique.
2. Le sens de la réaction qui fournit la vague et son équation résumée. Les vagues de réduction sont marquées d'une flèche vers la droite: les quelques rares vagues d'oxydation (vagues anodiques) sont marquées par une flèche vers la gauche.
3. Les potentiels de demi-vague,  $E_{1/2}$ , sont exprimés par rapport à l'électrode de calomel, normale en KCl. (N.C.E.).
4. Les valeurs du courant de diffusion  $i_d$ , en microampères, proviennent de la mesure de la vague enregistrée au polarographe.
5. Le coefficient de diffusion est calculé à partir de l'équation d'ILKOVIC, compte tenu de la connaissance de la valeur expérimentale du facteur  $m^{2/3}t^{1/6}$ .
6. Des remarques qui s'appliquent à la vague du métal qui subit la réduction ou l'oxydation.

### *Remarque :*

Les chiffres entre parenthèses, proviennent de la mesure de vagues obtenues au moyen d'un polarographe SARGENT, Mod. XXI.

TABLEAU I

*Milieu de base : KCl 0,5M*(Utilisable entre 0 et  $-1,9$  volt).

| Métal | Nature de la réaction            | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu$ A) | $D \times 10^5$ | Remarques                                                              |
|-------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------|
| Al    | $Al^{3+} \rightarrow Al^0$       | vers $-1,8$           |                     |                 | } Fournissent une vague qui se confond avec le saut du milieu de base. |
| As    | $AsO_2^- \rightarrow AsH_3$      | vers $-1,7$           |                     |                 |                                                                        |
| Bi    | $Bi^{3+} \rightarrow Bi^0$       |                       |                     |                 |                                                                        |
| Cd    | $Cd^{2+} \rightarrow Cd^0$       | $-0,68$               | 7,55                | 0,71            | Requiert un milieu fortement acide. (Voir tableau VIII).               |
| Co    | $Co^{2+} \rightarrow Co^0$       | $-1,42$               | 7,92                | 0,78            |                                                                        |
| Cr    | $CrO_4^{2-} \rightarrow Cr^{3+}$ | $-0,38$               | 7,44                |                 | } Vague uniquement mesurable sur la ligne zéro.                        |
|       | $Cr^{3+} \rightarrow Cr^{2+}$    | $-1,00$               | 3,54                | 0,62            |                                                                        |
|       | $Cr^{2+} \rightarrow Cr^0$       | $-1,59$               | 10,25               | 1,30            |                                                                        |
| Cu    | $Cu^{2+} \rightarrow Cu^+$       |                       |                     |                 |                                                                        |
|       | $Cu^+ \rightarrow Cu^0$          | $-0,21$               | 4,14                | 0,85            |                                                                        |
| Fe    | $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$    |                       |                     |                 |                                                                        |
|       | $Fe^{2+} \rightarrow Fe^0$       | $-1,43$               | 7,35                | 0,67            |                                                                        |
| Mn    | $Mn^{2+} \rightarrow Mn^0$       | $-1,57$               | 7,28                | 0,65            | Onde défectueuse, située entre $-0,7$ et $-1,2$ volt.                  |
| Ni    | $Ni^{2+} \rightarrow Ni^0$       |                       |                     |                 |                                                                        |
| Pb    | $Pb^{2+} \rightarrow Pb^0$       | $-0,46$               | 9,21                | 1,05            |                                                                        |
| Sb    | $Sb^{5+} \rightarrow Sb^{3+}$    |                       |                     |                 | } Requièrent un milieu fortement acide ou fortement alcalin.           |
|       | $Sb^{3+} \rightarrow Sb^0$       |                       |                     |                 |                                                                        |
| Sn    | $Sn^{2+} \rightarrow Sn^0$       |                       |                     |                 |                                                                        |
| Zn    | $Zn^{2+} \rightarrow Zn^0$       | $-1,09$               | 7,85                | 0,76            |                                                                        |

*Observations :*

1. Le milieu convient mal pour :  $Al^{3+}$ ,  $As^{3+}$ ,  $Bi^{3+}$ ,  $Sb^{5+}$ ,  $Sb^{3+}$  et  $Sn^{2+}$ .
2. Sont précipités :  $Ag^+$ ,  $Hg^+$ ,  $Tl^+$ .
3. En remplaçant KCl par LiCl, on obtient pour  $Al^{3+}$  une onde utilisable, si le milieu est légèrement acide.

TABLEAU II

*Milieu de base : CaCl<sub>2</sub> 0,5M*

(Utilisable entre 0 et -1,9 volt).

| Métal | Nature de la réaction                                                                                                            | E <sub>1/2</sub><br>(N.C.E.) | i <sub>d</sub><br>(μA) | D × 10 <sup>5</sup> | Remarques                                                                            |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Al    | Al <sup>3+</sup> → Al <sup>0</sup>                                                                                               | vers -1,8                    | { 20,03<br>(20,60)     | 0,55                | Vague se confondant avec le saut du milieu de base.                                  |
| As    | AsO <sub>2</sub> <sup>-</sup> → AsH <sub>3</sub>                                                                                 | -1,57                        |                        |                     |                                                                                      |
| Bi    | Bi <sup>3+</sup> → Bi <sup>0</sup>                                                                                               |                              |                        |                     | Requiert un milieu fortement acide. (Voir tableau VIII).                             |
| Cd    | Cd <sup>2+</sup> → Cd <sup>0</sup>                                                                                               | -0,65                        | 7,43                   | 0,68                |                                                                                      |
| Co    | Co <sup>2+</sup> → Co <sup>0</sup>                                                                                               | -1,16                        | 4,45                   | 0,25                |                                                                                      |
| Cu    | { Cu <sup>2+</sup> → Cu <sup>+</sup><br>Cu <sup>+</sup> → Cu <sup>0</sup>                                                        |                              |                        |                     | Vague unique, située à -0,16 volt.<br>Précipitation partielle.                       |
| Cr    | { CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> → Cr <sup>3+</sup><br>Cr <sup>3+</sup> → Cr <sup>2+</sup><br>Cr <sup>2+</sup> → Cr <sup>0</sup> | vers -0,55<br>-1,04<br>-1,52 | 3,10<br>6,51           | 0,45<br>0,58        |                                                                                      |
| Fe    | { Fe <sup>3+</sup> → Fe <sup>2+</sup><br>Fe <sup>2+</sup> → Fe <sup>0</sup>                                                      | -1,40                        | 6,71                   | 0,55                | Vague non mesurable.                                                                 |
| Mn    | Mn <sup>2+</sup> → Mn <sup>0</sup>                                                                                               | -1,58                        | 6,50                   | 0,59                |                                                                                      |
| Ni    | Ni <sup>2+</sup> → Ni <sup>0</sup>                                                                                               | vers -1,15                   |                        |                     | Vague difficilement mesurable.                                                       |
| Pb    | Pb <sup>2+</sup> → Pb <sup>0</sup>                                                                                               |                              |                        |                     |                                                                                      |
| Sb    | { Sb <sup>5+</sup> → Sb <sup>3+</sup><br>Sb <sup>3+</sup> → Sb <sup>0</sup>                                                      |                              |                        |                     | } Requière un milieu fortement acide ou fortement alcalin. (Voir tableau VIII et X). |
| Sn    | Sn <sup>2+</sup> → Sn <sup>0</sup>                                                                                               |                              |                        |                     |                                                                                      |
| Tl    | Tl <sup>+</sup> → Tl <sup>0</sup>                                                                                                |                              |                        |                     |                                                                                      |
| Zn    | Zn <sup>2+</sup> → Zn <sup>0</sup>                                                                                               | -1,06                        | 8,10                   | 0,81                |                                                                                      |

*Observations :*

1. Le milieu convient mal pour : Al<sup>3+</sup>, As<sup>3+</sup>, Bi<sup>3+</sup>, Sb<sup>3+</sup>, Sb<sup>5+</sup> et Sn<sup>2+</sup>.
2. Sont précipités : Ag<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup>.

TABLEAU III

*Milieu de base : NaClO<sub>4</sub> 0,5M*

(Utilisable entre +0,2 et -1,8 volt).

| Métal | Nature de la réaction                               | E <sub>1/2</sub><br>(N.C.E.) | i <sub>d</sub><br>(μA) | D × 10 <sup>5</sup> | Remarques                                                                  |
|-------|-----------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Al    | Al <sup>3+</sup> → Al <sup>0</sup>                  | vers -1,8                    |                        |                     | } Fournissent un saut qui se confond presque avec celui du milieu de base. |
| As    | AsO <sub>2</sub> <sup>-</sup> → AsH <sub>3</sub>    | vers -1,7                    |                        |                     |                                                                            |
| Cd    | Cd <sup>2+</sup> → Cd <sup>0</sup>                  | -0,63                        | 7,15                   | 0,63                |                                                                            |
| Co    | Co <sup>2+</sup> → Co <sup>0</sup>                  | -1,22                        | 7,65                   | 0,72                | } Vague non mesurable.                                                     |
| Cr    | { CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> → Cr <sup>3+</sup> | -0,39                        | 6,20                   | 0,21                |                                                                            |
|       | { Cr <sup>3+</sup> → Cr <sup>2+</sup>               | -0,98                        | 3,03                   | 0,45                |                                                                            |
|       | { Cr <sup>2+</sup> → Cr <sup>0</sup>                | -1,52                        | 7,07                   | 0,62                |                                                                            |
| Cu    | Cu <sup>2+</sup> → Cu <sup>0</sup>                  | -0,05                        | 7,13                   | 0,63                |                                                                            |
| Fe    | { Fe <sup>3+</sup> → Fe <sup>2+</sup>               | -                            |                        |                     |                                                                            |
|       | { Fe <sup>2+</sup> → Fe <sup>0</sup>                | -1,50                        | 6,72                   | 0,56                |                                                                            |
| Mn    | Mn <sup>2+</sup> → Mn <sup>0</sup>                  | -1,56                        | 6,55                   | 0,53                |                                                                            |
| Ni    | Ni <sup>2+</sup> → Ni <sup>0</sup>                  | -1,12                        | 7,64                   | 0,72                |                                                                            |
| Pb    | Pb <sup>2+</sup> → Pb <sup>0</sup>                  | -0,43                        | 8,75                   | 0,95                |                                                                            |
| Sb    | { Sb <sup>5+</sup> → Sb <sup>3+</sup>               |                              |                        |                     | } Requièrent un milieu fortement acide ou fortement alcalin.               |
|       | { Sb <sup>3+</sup> → Sb <sup>0</sup>                |                              |                        |                     |                                                                            |
| Sn    | Sn <sup>2+</sup> → Sn <sup>0</sup>                  |                              |                        |                     |                                                                            |
| Tl    | Tl <sup>+</sup> → Tl <sup>0</sup>                   | -0,50                        | 6,60                   | 2,16                |                                                                            |
| Zn    | Zn <sup>2+</sup> → Zn <sup>0</sup>                  | -1,07                        | 7,45                   | 0,69                |                                                                            |

*Observations :*

En raison de sa trop faible acidité, le milieu ne convient pas pour : Al<sup>3+</sup>, Bi<sup>3+</sup>, Sb<sup>5+</sup>, Sb<sup>3+</sup>, Sn<sup>2+</sup>.

TABLEAU IV  
Milieu de base :  $\text{KNO}_3$  0,5M  
(Utilisable entre +0,2 et -1,6 volt).

| Métal | Nature de la réaction                          | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu\text{A}$ ) | $D \times 10^5$ | Remarques                                                                  |
|-------|------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Al    | $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Al}^0$       | vers -1,8             |                            |                 | Vagues se confondant avec le saut du milieu de base.                       |
| As    | $\text{AsO}_2^- \rightarrow \text{AsH}_3$      | vers -1,7             |                            |                 |                                                                            |
| Cd    | $\text{Cd}^{2+} \rightarrow \text{Cd}^0$       | -0,64                 | 7,45                       | 0,69            |                                                                            |
| Co    | $\text{Co}^{2+} \rightarrow \text{Co}^0$       | -1,21                 | 6,52                       | 0,59            |                                                                            |
| Cr    | $\text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$ | -0,44                 | 4,96                       |                 | Vague défectueuse.<br>Vague qui se confond avec le saut du milieu de base. |
|       | $\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{Cr}^{2+}$    | vers -1,45            |                            |                 |                                                                            |
| Cu    | $\text{Cr}^{2+} \rightarrow \text{Cr}^0$       |                       |                            |                 |                                                                            |
|       | $\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu}^0$       | { 7,85<br>(7,92)      | 0,76                       |                 |                                                                            |
| Fe    | $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$    |                       |                            |                 | Vague non mesurable.<br>Vague défectueuse.<br>Vague défectueuse.           |
|       | $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^0$       |                       |                            |                 |                                                                            |
| Ni    | $\text{Ni}^{2+} \rightarrow \text{Ni}^0$       |                       |                            |                 |                                                                            |
| Pb    | $\text{Pb}^{2+} \rightarrow \text{Pb}^0$       | -0,45                 | 8,75                       | 0,95            |                                                                            |
| Tl    | $\text{Tl}^+ \rightarrow \text{Tl}^0$          | -0,51                 | 6,21                       | 1,90            |                                                                            |
| Zn    | $\text{Zn}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^0$       | -1,07                 | 7,45                       | 0,68            |                                                                            |

Observations :

Le milieu convient mal pour :  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{AsO}_2^-$ ,  $\text{Bi}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Sb}^{5+}$ ,  $\text{Sb}^{3+}$ ,  $\text{Sn}^{2+}$ .

TABLEAU V  
Milieu de base :  $\text{KI}$  0,5M  
(Utilisable entre -0,4 et -1,9 volt).

| Métal | Nature de la réaction                       | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu\text{A}$ ) | $D \times 10^5$ | Remarques                                                 |
|-------|---------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------|
| As    | $\text{AsO}_2^- \rightarrow \text{AsH}_3$   | —                     | —                          | —               | Se confond presque avec le saut de l'électrolyte de base. |
| Cd    | $\text{Cd}^{2+} \rightarrow \text{Cd}^0$    | -0,78                 | 7,86                       | 0,76            |                                                           |
| Co    | $\text{Co}^{2+} \rightarrow \text{Co}^0$    | -1,21                 | 6,72                       | 0,56            |                                                           |
| Cr    | $\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{Cr}^{2+}$ | -0,99                 | 3,54                       | 0,62            |                                                           |
|       | $\text{Cr}^{2+} \rightarrow \text{Cr}^0$    | -1,57                 | 8,53                       | 0,90            |                                                           |
| Fe    | $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^0$    | -1,42                 | 7,04                       | 0,61            |                                                           |
| Mn    | $\text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{Mn}^0$    | -1,57                 | 6,45                       | 0,52            |                                                           |
| Ni    | $\text{Ni}^{2+} \rightarrow \text{Ni}^0$    | -1,05                 | 5,85                       | 0,42            |                                                           |
| Zn    | $\text{Zn}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^0$    | -1,06                 | 8,16                       | 0,82            |                                                           |

Observations :

1. Le milieu ne convient pas pour :  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{AsO}_2^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Sb}^{5+}$ ,  $\text{Sb}^{3+}$ ,  $\text{Sn}^{2+}$ .
2. Sont précipités :  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Bi}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Hg}^+$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Tl}^+$ .

TABLEAU VI

Milieu de base : KCN 0,5M  
(Utilisable entre -0,75 et -1,9 volt).

| Métal | Nature de la réaction      | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu$ A)                                           | $D \times 10^5$ | Remarques                                                    |
|-------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------|
| Cd    | $Cd^{2+} \rightarrow Cd^0$ | -1,23                 | 3,34                                                          | 0,14            | Onde traînante.                                              |
| *Co   | $Co^{2+} \rightarrow Co^0$ | -1,53                 | $\left\{ \begin{array}{l} 6,72 \\ (6,73) \end{array} \right.$ | 0,56            |                                                              |
| Ni    | $Ni^{2+} \rightarrow Ni^0$ | -1,49                 | 8,65                                                          | 0,92            |                                                              |
| Mn    | $Mn^{2+} \rightarrow Mn^0$ | -1,46                 | 5,9                                                           | 0,43            |                                                              |
| Pb    | $Pb^{2+} \rightarrow Pb^0$ | -0,75                 | —                                                             | —               | Déterminable aux concentrations inférieures à $1.10^{-4}M$ . |

\* D'après HEYROVSKY (3),  $E_{1/2} = -1,22$  volt.

*Observations :*

Ne sont pas réductibles :  $Al^{3+}$ ,  $AsO_2^-$ ,  $Bi^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Sb^{5+}$ ,  $Sb^{3+}$ ,  $Sn^{2+}$ ,  $Tl^+$  et  $Zn^{2+}$ .

TABLEAU VII

Milieu de base : KSCN 0,5M  
(Utilisable entre -0,15 et -1,9 volt).

| Métal | Nature de la réaction                                                                                                                    | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.)                                                               | $i_d$<br>( $\mu$ A)                                           | $D \times 10^5$                                           | Remarques                              |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| As    | $\left\{ \begin{array}{l} As^{3+} \rightarrow As^0 \\ As^0 \rightarrow AsH_3 \end{array} \right.$                                        | $\left\{ \begin{array}{l} -0,70 \\ \text{vers } -1,2 \end{array} \right.$           | 6,85                                                          | 0,26                                                      | Saut non mesurable.                    |
| Cd    | $Cd^{2+} \rightarrow Cd^0$                                                                                                               | -0,78                                                                               | 7,35                                                          | 0,67                                                      |                                        |
| Co    | $Co^{2+} \rightarrow Co^0$                                                                                                               | -1,08                                                                               | 7,20                                                          | 0,64                                                      |                                        |
| Cr    | $\left\{ \begin{array}{l} CrO_4^{2-} \rightarrow Cr^{3+} \\ Cr^{3+} \rightarrow Cr^{2+} \\ Cr^{2+} \rightarrow Cr^0 \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} \text{vers } -0,75 \\ -0,97 \\ -1,64 \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} 3,9 \\ \\ \end{array} \right.$      | $\left\{ \begin{array}{l} 0,75 \\ \\ \end{array} \right.$ | Vague non mesurable.                   |
| Cu    | $\left\{ \begin{array}{l} Cu^{2+} \rightarrow Cu^+ \\ Cu^+ \rightarrow Cu^0 \end{array} \right.$                                         | $\left\{ \begin{array}{l} -0,51 \\ \\ \end{array} \right.$                          | $\left\{ \begin{array}{l} 4,55 \\ \\ \end{array} \right.$     | $\left\{ \begin{array}{l} 1,02 \\ \\ \end{array} \right.$ | Mesurable par rapport à la ligne zéro. |
| Fe    | $Fe^{2+} \rightarrow Fe^0$                                                                                                               | -1,46                                                                               | 6,26                                                          | 0,48                                                      |                                        |
| Mn    | $Mn^{2+} \rightarrow Mn^0$                                                                                                               | -1,59                                                                               | 6,45                                                          | 0,52                                                      |                                        |
| Ni    | $Ni^{2+} \rightarrow Ni^0$                                                                                                               | -0,74                                                                               | $\left\{ \begin{array}{l} 7,55 \\ (7,34) \end{array} \right.$ | 0,71                                                      |                                        |
| Pb    | $Pb^{2+} \rightarrow Pb^0$                                                                                                               | -0,50                                                                               | 8,84                                                          | 0,97                                                      |                                        |
| Zn    | $Zn^{2+} \rightarrow Zn^0$                                                                                                               | -1,08                                                                               | 7,95                                                          | 0,78                                                      |                                        |

*Observations :*

1. Ce milieu ne convient pas pour :  $Al^{3+}$ ,  $Bi^{3+}$ ,  $Sb^{3+}$ ,  $Sb^{5+}$ ,  $Sn^{2+}$ , car son acidité est insuffisante.
2.  $Fe^{3+}$  n'est pas réductible.
3.  $Tl^+$  se précipite.

TABLEAU VIII

*Milieu de base : HCl 1M*

(Utilisable entre 0 et -1,15 volt).

| Métal | Nature de la réaction                                                                 | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu A$ )                                           | $D \times 10^5$ | Remarques                              |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------|
| As    | $\{ \text{As}^{3+} \rightarrow \text{As}^0$<br>$\text{As}^0 \rightarrow \text{AsH}_3$ | -0,49<br>vers -1,0    | 11,58                                                          | 0,74            | Vague d'allure compliquée.             |
| Bi    | $\text{Bi}^{3+} \rightarrow \text{Bi}^0$                                              | -0,13                 | 11,70                                                          | 0,76            |                                        |
| Cd    | $\text{Cd}^{2+} \rightarrow \text{Cd}^0$                                              | -0,72                 | 7,86                                                           | 0,76            | Mesurable par rapport à la ligne zéro. |
| Cu    | $\{ \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu}^+$<br>$\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu}^0$  | -0,28                 | 4,48                                                           | 0,99            |                                        |
| Pb    | $\text{Pb}^{2+} \rightarrow \text{Pb}^0$                                              | -0,53                 | $\left\{ \begin{array}{l} 8,95 \\ (9,20) \end{array} \right.$  | 0,99            |                                        |
| Sb    | $\text{Sb}^{3+} \rightarrow \text{Sb}^0$                                              | -0,20                 | $\left\{ \begin{array}{l} 13,6 \\ (13,30) \end{array} \right.$ | 1,02            |                                        |
| Sn    | $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^0$                                              | -0,52                 | 9,5                                                            | 1,12            |                                        |

*Observations :* $\text{Zn}^{2+}$ , en raison de la compétition des ions  $\text{H}^+$  avec ces cations.

1. Ce milieu ne convient pas pour :  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ .
2.  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}^+$ ,  $\text{Tl}^+$  fournissent des précipités dans ce milieu.

TABLEAU IX

*Milieu de base :  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1M*

(Utilisable entre 0,1 et -1,5 volt).

| Métal | Nature de la réaction                                                                 | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu A$ ) | $D \times 10^5$ | Remarques                    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|------------------------------|
| As    | $\{ \text{AsO}_2^- \rightarrow \text{As}^0$<br>$\text{As}^0 \rightarrow \text{AsH}_3$ | -0,58<br>vers -1,0    | 10,8                 | 0,64            | Vague d'allure compliquée.   |
| Bi    | $\text{Bi}^{3+} \rightarrow \text{Bi}^0$                                              | -0,03                 | 10,55                | 0,61            |                              |
| Cd    | $\text{Cd}^{2+} \rightarrow \text{Cd}^0$                                              | -0,66                 | 6,63                 | 0,54            |                              |
| Cu    | $\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu}^0$                                              | -0,07                 | 6,63                 | 0,54            |                              |
| Sb    | $\text{Sb}^{3+} \rightarrow \text{Sb}^0$                                              | -0,21                 | 12,7                 | 0,88            |                              |
| Sn    | $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^0$                                              | -0,50                 |                      |                 | Suivant von Stackelberg (9). |

*Observations :*

1. Ce milieu ne convient pas pour :  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , en raison de la compétition des ions  $\text{H}^+$  avec ces cations.
2.  $\text{Pb}^{2+}$  est précipité dans ce milieu.

TABLEAU X

*Milieu de base : NaOH 1M*(Utilisable entre  $-0,2$  et  $-1,9$  volt).

| Métal | Nature de la réaction            | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu A$ ) | $D \times 10^5$ | Remarques                   |
|-------|----------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------|
| As    | $AsO_3^- \leftarrow AsO_2^-$     | $-0,31$               | 7,45                 | 0,69            | Vague d'oxydation anodique. |
|       | $CrO_4^{2-} \rightarrow Cr^{3+}$ | $-0,89$               | 11,65                | 0,75            |                             |
| Cr    | $Cr^{3+} \rightarrow Cr^{2+}$    | —                     | —                    | —               | Non réductible.             |
|       | $Cr^{2+} \rightarrow Cr^0$       | —                     | —                    | —               | Non réductible.             |
| Pb    | $Pb^{2+} \rightarrow Pb^0$       | $-0,80$               | 8,58                 | 0,91            | Vague d'oxydation anodique. |
| Sb    | $Sb^{3+} \rightarrow Sb^0$       | $-1,25$               | 8,92                 | 0,44            |                             |
| Sn    | $Sn^{4+} \leftarrow Sn^{2+}$     | $-0,86$               | 6,9                  | 0,59            |                             |
|       | $Sn^{2+} \rightarrow Sn^0$       | $-1,25$               | 6,65                 | 0,55            |                             |
| Tl    | $Tl^{+} \rightarrow Tl^0$        | $-0,51$               | 5,8                  | 1,66            |                             |
| Zn    | $Zn^{2+} \rightarrow Zn^0$       | $-1,56$               | 7,75                 | 0,74            |                             |

*Observations :*

1.  $Al^{3+}$  n'est pas réductible.
2. Sont précipités :  $Bi^{3+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ .

TABLEAU XI

*Milieu de base : Tartrate 0,5M*(Utilisable entre  $+0,2$  et  $-1,9$  volt).

| Métal | Nature de la réaction         | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu A$ )                       | $D \times 10^5$ | Remarques |
|-------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------|
| Cd    | $Cd^{2+} \rightarrow Cd^0$    | $-0,70$               | 6,37                                       | 0,50            |           |
| Cu    | $Cu^{2+} \rightarrow Cu^0$    | $-0,10$               | 7,03                                       | 0,61            |           |
| Fe    | $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ | $-0,33$               | 2,29                                       | 0,26            |           |
| Mn    | $Mn^{2+} \rightarrow Mn^0$    | $-1,62$               | $\begin{cases} 4,68 \\ (4,85) \end{cases}$ | 0,27            |           |
| Pb    | $Pb^{2+} \rightarrow Pb^0$    | $-0,50$               | 7,73                                       | 0,74            |           |
| Tl    | $Tl^{+} \rightarrow Tl^0$     | $-0,52$               | 6,06                                       | 1,82            |           |
| Zn    | $Zn^{2+} \rightarrow Zn^0$    | $-1,10$               | 6,72                                       | 0,55            |           |

*Observations :*

1. Ne sont pas réductibles :  $Al^{3+}$ ,  $AsO_2^-$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ .
2.  $Bi^{3+}$ ,  $Sb^{5+}$ ,  $Sb^{3+}$ ,  $Sn^{2+}$ , ne sont convenablement déterminables qu'en milieu fortement acide ou fortement alcalin. (Voir tableau XIII).

TABLEAU XII

*Milieu de base : Citrate 0,05M*

(Utilisable entre +0,2 et -1,8 volt).

| Métal | Nature de la réaction         | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu A$ ) | $D \times 10^5$ | Remarques            |
|-------|-------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| Cd    | $Cd^{2+} \rightarrow Cd^0$    | -0,70                 | 5,95                 | 0,44            | Vague non mesurable. |
| Cu    | $Cu^{2+} \rightarrow Cu^0$    | -0,22                 | 7,35                 | 0,67            |                      |
| * Fe  | $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ | -0,50                 | 2,74                 | 0,37            |                      |
| Mn    | $Mn^{2+} \rightarrow Mn^0$    | -1,64                 | 5,38                 | 0,36            |                      |
| Pb    | $Pb^{2+} \rightarrow Pb^0$    | -0,56                 | 6,88                 | 0,59            |                      |
| Tl +  | $Tl^+ \rightarrow Tl^0$       | -0,51                 | 6,83                 | 2,31            |                      |
| Zn    | $Zn^{2+} \rightarrow Zn^0$    | Vers -1,1             |                      |                 |                      |

\* Citrate 0,5 M

*Observations :*

Les remarques relatives au milieu de base tartrate sont applicables à ce milieu.

TABLEAU XIII

*Milieu de base : Tartrate 0,5M + NaOH 0,4M*

(Utilisable entre -0,15 et -1,8 volt).

| Métal | Nature de la réaction         | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu A$ ) | $D \times 10^5$ | Remarques                                        |
|-------|-------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|--------------------------------------------------|
| As    | $AsO_3^- \leftarrow AsO_2^-$  | -0,29                 | 7,66                 | 0,72            | Mauvaise vague.                                  |
| Bi    | $Bi^{3+} \rightarrow Bi^0$    | -0,99                 | 7,34                 | 0,30            |                                                  |
| Cd    | $Cd^{2+} \rightarrow Cd^0$    | -0,88                 | 4,85                 | 0,29            |                                                  |
| Cu    | $Cu^{2+} \rightarrow Cu^0$    | vers -0,50            |                      |                 |                                                  |
| Fe    | $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ | -1,27                 | 2,53                 | 0,32            |                                                  |
| Mn    | $Mn^{2+} \rightarrow Mn^0$    | vers -1,9             |                      |                 | Saut correspondant avec celui du milieu de base. |
| Pb    | $Pb^{2+} \rightarrow Pb^0$    | -0,84                 | 5,68                 | 0,40            |                                                  |
| Sb    | $Sb^{3+} \rightarrow Sb^0$    | -1,1                  | 7,36                 | 0,30            |                                                  |
|       | $Sb^{3+} \rightarrow Sb^{5+}$ | -0,06                 | 5,28                 | 0,35            |                                                  |
| Sn    | $Sn^{2+} \rightarrow Sn^0$    | -1,22                 | 5,12                 | 0,32            |                                                  |
|       | $Sn^{4+} \leftarrow Sn^{2+}$  | -0,86                 | 5,58                 | 0,39            |                                                  |
| Tl    | $Tl^+ \rightarrow Tl^0$       | -0,56                 | 7,76                 | 0,75            |                                                  |
| Zn    | $Zn^{2+} \rightarrow Zn^0$    | -1,54                 | 6,83                 | 0,58            |                                                  |

*Observations :*

Ne sont pas réductibles :  $Al^{3+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Sb^{5+}$ .

TABLEAU XIV  
*Milieu de base : Oxalate 0,05M*  
 (Utilisable de  $-0,15$  à  $-1,8$  volt).

| Métal | Nature de la réaction         | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu A$ ) | $D \times 10^5$ | Remarques                 |
|-------|-------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|---------------------------|
| As    | $AsO_2^- \rightarrow AsH_3$   | -1,72                 | 24,0                 | 0,73            | Palier inférieur peu net. |
| Cd    | $Cd^{2+} \rightarrow Cd^0$    | -0,79                 | 6,63                 | 0,54            |                           |
| Cu    | $Cu^{2+} \rightarrow Cu^0$    | -0,27                 | —                    | —               |                           |
| Fe    | $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ | -0,29                 | 3,95                 | 0,77            |                           |
| Mn    | $Mn^{2+} \rightarrow Mn^0$    | -1,64                 | 5,93                 | 0,43            |                           |
| Tl    | $Tl^+ \rightarrow Tl^0$       | -0,50                 | 6,06                 | 1,82            |                           |
| Zn    | $Zn^{2+} \rightarrow Zn^0$    | -1,32                 | 7,03                 | 0,61            |                           |

*Observations :*

1.  $Al^{3+}$  n'est déterminable qu'en milieu faiblement acide.
2.  $Bi^{3+}$ ,  $Sb^{5+}$ ,  $Sb^{3+}$ ,  $Sn^{2+}$  ne fournissent de vague de réduction qu'en milieu fortement acide ou fortement alcalin.
3. Ne sont pas réductibles :  $Cr^{3+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ .
4. Se précipitent :  $Ag^+$ ,  $Pb^{2+}$ .

TABLEAU XV  
*Milieu de base :  $NH_3$  0,25M -  $NH_4Cl$  0,25M*  
 (Utilisable entre  $-0,05$  et  $-1,9$  volt).

| Métal | Nature de la réaction                                                         | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu A$ ) | $D \times 10^5$ | Remarques                                                    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------|
| As    | $AsO_2^- \rightarrow AsH_3$                                                   | -1,72                 | 23,0                 | 0,73            | Vague mesurable par rapport à la ligne zéro du galvanomètre. |
| Cd    | $Cd^{2+} \rightarrow Cd^0$                                                    | -0,80                 | 8,07                 | 0,81            |                                                              |
| Co    | $Co^{2+} \rightarrow Co^0$                                                    | -1,21                 | 7,05                 | 0,62            |                                                              |
| Cu    | $\begin{cases} Cu^{2+} \rightarrow Cu^+ \\ Cu^+ \rightarrow Cu^0 \end{cases}$ | -0,50                 | 3,97                 | 0,78            |                                                              |
| Mn    | $Mn^{2+} \rightarrow Mn^0$                                                    | -1,62                 | 6,61                 | 0,54            |                                                              |
| Ni    | $Ni^{2+} \rightarrow Ni^0$                                                    | -1,03                 | 8,27                 | 0,85            |                                                              |
| Tl    | $Tl^+ \rightarrow Tl^0$                                                       | -0,52                 | 6,85                 | 2,32            |                                                              |
| Zn    | $Zn^{2+} \rightarrow Zn^0$                                                    | -1,32                 | 9,18                 | 1,04            |                                                              |

*Observations :*

Se précipitent :  $Al^{3+}$ ,  $Bi^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Sb^{5+}$ ,  $Sb^{3+}$ .

TABLEAU XVI

Milieu de base :  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,25M -  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,5M

(Utilisable entre +0,2 et -1,55 volt).

| Métal | Nature de la réaction                          | $E_{1/2}$<br>(N.C.E.) | $i_d$<br>( $\mu\text{A}$ ) | $D \times 10^5$ | Remarques                                        |
|-------|------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------|--------------------------------------------------|
| As    | $\text{As}^{3+} \rightarrow ?$                 | vers -1,25            | —                          | —               | Vague non mesurable.                             |
| Cd    | $\text{Cd}^{2+} \rightarrow \text{Cd}^0$       | -0,67                 | 6,42                       | 0,51            |                                                  |
| Cr    | $\text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$ | —                     | —                          | —               | Non réductible.                                  |
|       | $\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{Cr}^{2+}$    | vers -1,1             | —                          | —               | Vague difficilement mesurable.                   |
|       | $\text{Cr}^{2+} \rightarrow \text{Cr}^0$       | —                     | —                          | —               | Saut correspondant avec celui du milieu de base. |
| Cu    | $\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu}^0$       | -0,08                 | 6,85                       | 0,58            |                                                  |
| Pb    | $\text{Pb}^{2+} \rightarrow \text{Pb}^0$       | -0,51                 | 7,39                       | 0,68            |                                                  |
| Tl    | $\text{Tl}^+ \rightarrow \text{Tl}^0$          | -0,51                 | 6,0                        | 1,82            |                                                  |
| Zn    | $\text{Zn}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^0$       | -1,09                 | 6,95                       | 0,60            |                                                  |

## Observations :

1. L'acidité du milieu est insuffisante pour :  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Sb}^{5+}$ ,  $\text{Sb}^{3+}$ ,  $\text{Bi}^{3+}$ ,  $\text{Sn}^{2+}$ .
2. La compétition des ions  $\text{H}^+$  ne permet pas la détermination de :  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ .

## INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- (1) COZZI, D. — *Anal. Chim. Acta*, **4** (1950).
- (2) HEFTI, F. — D'après TREADWELL, F. P., *Chimie Analytique*, traduction Duninger et Gosciny. 1912, Dunod, Paris.
- (3) HEYROVSKY, — *Polarographie*, Wien, Springer-Verlag. 1941.
- (4) KACIRKOWA. — D'après KOLTHOFF et LINGANE, *Polarography*, Int. Publ. N.-Y. 1946.
- (5) KOLTHOFF et LINGANE, — *Polarography*, Int. Publ. N. Y. 1946.
- (6) KOLTHOFF et WATTERS. — D'après KOLTHOFF et LINGANE, *Polarography*, Int. Publ. N.-Y. 1946.
- (7) LINGANE. — *J. Am. Chem. Soc.* **68**, (1946).
- (8) SCHWARTZ. — *Z. Analyt. Ch.* **115**, (1939).
- (9) Von STACKELBERG. — *Polarographische Arbeitsmethoden*, W. de GRUYTER, Berlin, 1950.

STATION LAITIÈRE DE L'ÉTAT A GEMBOUX  
et  
COMITÉ POUR L'ÉTUDE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE DU LAIT ET DE SES DÉRIVÉS (I.R.S.I.A.)

---

## Des facteurs conditionnant l'aptitude du beurre à la conservation en frigo

### Comment juger rapidement si un beurre convient pour le stockage ? (\*)

par

E. PIRAUX, P. JAMOTTE, R. LACROSSE, F. LHEUREUX,  
Th. de BRIEY et Y. PIROT

---

Des recherches sur l'aptitude des beurres à la conservation en entrepôt frigorifique se poursuivent à la Station Laitière de Gembloux depuis 1949, sous les auspices du Comité pour l'Étude Scientifique et Technique du Lait et de ses Dérivés, et avec l'aide de l'I. R. S. I. A.

Ces recherches visent essentiellement à étudier la conservation des beurres en frigo de façon à enlever à cette opération le caractère empirique et aléatoire qu'elle présentait il y a peu d'années encore.

Pour arriver à cette fin, il fallait :

- 1° dégager les facteurs qui régissent l'aptitude du beurre à la conservation à l'état congelé, ce qui devait permettre d'orienter les méthodes de préparation de façon à éviter, dans la mesure du possible, les accidents de conservation ;
- 2° dégager des tests permettant de juger très rapidement de cette aptitude du beurre à la conservation au froid, ce qui constituerait

---

(\*) Déposé à la rédaction le 6 juillet 1956.

évidemment l'arme la plus efficace pour supprimer la plus grosse partie des aléas du stockage, et rendre cette opération plus efficace et plus rentable encore dans l'intérêt de l'industrie laitière belge.

Comme généralement en Belgique, les laiteries fabriquent surtout des beurres non salés faits à partir de crèmes fermentées, c'est cette catégorie de beurres qui a retenu essentiellement notre attention. Il est bien connu d'ailleurs que la conservation des beurres de même type salés est beaucoup plus aléatoire (12-13-14-16).

Les premières indications tirées de cette étude ont déjà fait l'objet de plusieurs publications antérieures (1 à 9) (\*).

## A. FACTEURS D'APTITUDE A LA CONSERVATION

### I. — La teneur en cuivre des beurres

Nous avons eu, à plus d'une reprise déjà, l'occasion de dégager nos vues quant à la limite de teneur en cuivre du beurre compatible avec une bonne conservation (7-8-9). La détermination du cuivre a été faite suivant la méthode de PERRIN D.R., LIGHTFOOT F.R. and MOIR G.M. (28).

Nous avons dès l'abord, à cet égard, établi une distinction entre beurres de crèmes fraîches, c'est-à-dire faits de crèmes récoltées tous les jours, et beurres faits de crèmes récoltées tous les deux ou trois jours, parfois toutes les semaines, cette dernière pratique étant la plus fréquente dans une bonne partie des provinces méridionales du pays (7-9).

Pour les beurres de crèmes fraîches, nous considérons que la limite de teneur en cuivre était de 70 et même mieux de 50  $\gamma$  par kg.

Dans une publication ultérieure, le Dr C. I. KRUISHEER et l'ingénieur B. M. KROL (9) soulignent le parallélisme frappant entre les résultats qu'ils relèvent sur des beurres hollandais quant à l'influence de la teneur en cuivre sur la conservation et les résultats qu'ils dégagent de nos publications. Voici d'ailleurs, à la page suivante, le petit tableau comparatif qu'ils dressent.

Pour tenter de repréciser encore nos appréciations quant à la teneur critique en cuivre compatible avec une bonne conservation, nous avons, dans les tableaux I et II ci-après, recherché, d'une part, pour les beurres faits de crèmes fraîches, d'autre part, pour les beurres faits de vieilles crèmes, la relation entre la teneur en cuivre et l'apparition du goût de poisson. Il s'agit de beurres fabriqués de mai à septembre.

(\*) Les auteurs remercient leurs collaborateurs et en particulier Mademoiselle DONIS et Monsieur BRASSEUR, Préparateurs-techniciens de l'aide qu'ils leur ont apportée dans l'exécution du travail.

*Nombre d'échantillons de beurres d'été sans (—)  
et avec (+) altération de goût après séjour en frigo*

| Teneur en cuivre<br>$\gamma$ /Kg. | Observations<br>faites en Belgique |    | Observations<br>faites en Hollande |    |
|-----------------------------------|------------------------------------|----|------------------------------------|----|
|                                   | —                                  | +  | —                                  | +  |
| 0 - 40                            | 24                                 | 7  | 24                                 | 3  |
| 41 - 50                           | 4                                  | 6  | 4                                  | 6  |
| 51 - 60                           | 3                                  | 3  | 1                                  | 4  |
| 61 - 70                           | 2                                  | 4  | 1                                  | 5  |
| 71 - 80                           | 0                                  | 2  | 0                                  | 7  |
| 81 - 90                           | 2                                  | 3  | 0                                  | 3  |
| 91 - 100                          | 0                                  | 2  | 0                                  | 2  |
| > 100                             | 4                                  | 33 | 1                                  | 11 |

*Pour les beurres faits de crèmes fraîches*, il se manifeste de mieux en mieux qu'une teneur de 50  $\gamma$  par kg constitue vraiment la teneur critique en cuivre et nous serions tentés de considérer qu'il est préférable d'avoir une teneur en cuivre inférieure à 50  $\gamma$  par kg. Comme nous pourrions le constater en effet, dans les tableaux III, IV et V, les teneurs en cuivre peuvent être à la saison de stockage sensiblement inférieures à 50  $\gamma$  par kg et des teneurs voisines de 50  $\gamma$  pourraient déjà indiquer une certaine pollution par les appareils avec les suites dommageables qu'elle peut comporter.

*Pour les beurres faits de vieilles crèmes*, le tableau II accuse une situation nettement différente, ce qui justifie une fois de plus la distinction faite déjà antérieurement quant aux caractéristiques de conservation entre ces beurres et les beurres faits de crèmes fraîches.

Notons cependant que ce tableau n'envisage que les relations entre la teneur en cuivre et l'apparition du goût de poisson.

Il accuse chez ces beurres de vieilles crèmes une résistance beaucoup plus marquée à l'apparition du goût de poisson, mais il est à observer que cela n'exclut pas d'autres formes d'altérations sur la nature desquelles on n'est pas bien fixé jusqu'ici.

Le tableau III indique, d'autre part, les durées de conservation à  $-10^{\circ}\text{C}$  en fonction de la teneur en cuivre et du degré de chauffage pour deux séries de beurres de crèmes fraîches issus de 36 laiteries de diverses régions du pays et prélevés, d'une part, en juin, et, d'autre part, en septembre.

Ce tableau confirme notre appréciation quant à la teneur critique en cuivre, compte tenu de l'intervention du facteur thermique dont

TABLEAU I

*Relations entre teneur en cuivre et goût de poisson (\*) après diverses durées de conservation à -10 °C*

RÉSULTATS GLOBAUX DE 1950 A 1955 INCLUS

*Beurres de crèmes fraîches*

| Teneur en cuivre $\gamma/\text{kg}$ | Nombre | 2 mois         |              |               | 4 mois         |               |               | 6 mois         |               |               |
|-------------------------------------|--------|----------------|--------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
|                                     |        | Ne prenant pas | Léger        | Fort          | Ne prenant pas | Léger         | Fort          | Ne prenant pas | Léger         | Fort          |
| < 50                                | 189    | 170<br>89,94 % | 10<br>5,29 % | 9<br>4,77 %   | 156<br>82,53 % | 19<br>10,05 % | 14<br>7,42 %  | 129<br>68,25 % | 21<br>11,12 % | 39<br>20,63 % |
| 50 à 69                             | 56     | 40<br>71,42 %  | 5<br>8,93 %  | 11<br>19,65 % | 33<br>58,92 %  | 6<br>10,73 %  | 17<br>30,35 % | 25<br>44,64 %  | 7<br>12,51 %  | 24<br>42,85 % |
| 70 à 99                             | 48     | 29<br>60,41 %  | 4<br>8,34 %  | 15<br>31,25 % | 22<br>45,83 %  | 2<br>4,17 %   | 24<br>50,00 % | 15<br>31,25 %  | 4<br>8,34 %   | 29<br>60,41 % |
| 100 à 149                           | 49     | 28<br>57,14 %  | 6<br>12,25 % | 15<br>30,61 % | 13<br>26,53 %  | 7<br>14,29 %  | 29<br>59,18 % | 10<br>20,40 %  | 3<br>6,14 %   | 36<br>73,46 % |
| 150 à 199                           | 19     | 10<br>52,63 %  |              | 9<br>47,37 %  | 6<br>31,58 %   | 2<br>10,52 %  | 11<br>57,89 % | 4<br>21,05 %   |               | 15<br>78,95 % |
| > 200                               | 34     | 6<br>17,65 %   |              | 28<br>82,35 % | 3<br>8,82 %    | 1<br>2,94 %   | 30<br>88,24 % | 1<br>2,95 %    |               | 33<br>97,05 % |
| TOTAL                               | 395    |                |              |               |                |               |               |                |               |               |

(\*) Le terme « goût de poisson » est peut-être employé parfois chez nous dans un sens trop générique et englobe, dans certains cas, d'autres défauts d'oxydation, notamment le goût d'huile de foie de morue (dénommé « tranig » par les experts hollandais).

TABLEAU II  
*Relations entre teneur en cuivre et goût de poisson après diverses durées de conservation à — 10 °C*  
 RESULTATS GLOBAUX 1949 A 1954 INCLUS  
*Beurres de vieilles crêpes*

| Teneur en cuivre | Nombre | 2 mois              |              |              | 4 mois              |             |               | 6 mois              |             |               |
|------------------|--------|---------------------|--------------|--------------|---------------------|-------------|---------------|---------------------|-------------|---------------|
|                  |        | Ne pre-<br>nant pas | Léger        | Fort         | Ne pre-<br>nant pas | Léger       | Fort          | Ne pre-<br>nant pas | Léger       | Fort          |
| < 50 γ           | 77     | 76<br>98,70 %       |              | 1<br>1,3 %   | 75<br>97,4 %        |             | 2<br>2,6 %    | 69<br>89,5 %        | 3<br>3,9 %  | 5<br>6,5 %    |
| 50 à 69          | 20     | 20<br>100 %         |              |              | 19<br>95 %          |             | 1<br>5 %      | 19<br>95 %          |             | 1<br>5 %      |
| 70 à 99          | 28     | 27<br>96,43 %       |              | 1<br>3,57 %  | 27<br>96,43 %       |             | 1<br>3,57 %   | 24<br>85,72 %       | 2<br>7,14 % | 2<br>7,14 %   |
| 100 à 149        | 16     | 14<br>87,50 %       | 1<br>6,25 %  | 1<br>6,25 %  | 14<br>87,50 %       | 1<br>6,25 % | 1<br>6,25 %   | 13<br>81,25 %       |             | 3<br>18,75 %  |
| 150 à 199        | 10     | 8<br>80 %           | 1<br>10 %    | 1<br>10 %    | 4<br>40 %           | 1<br>10 %   | 5<br>50 %     | 3<br>30 %           |             | 7<br>70 %     |
| > 200            | 15     | 8<br>53,34 %        | 2<br>13,33 % | 5<br>33,33 % | 5<br>33,33 %        |             | 10<br>66,67 % | 5<br>33,33 %        |             | 10<br>66,67 % |

nous parlerons ultérieurement. Quand il y a chauffage suffisant, ce qui sera défini plus loin, les échantillons renfermant 50  $\gamma$  de cuivre par kg se conservent encore bien : 55 et 65  $\gamma$  s'altèrent même avec un bon chauffage. Par contre, il y a un cas de 70  $\gamma$  de cuivre par kg avec bonne conservation mais avec un chauffage particulièrement fort.

TABLEAU III

Résultats de conservation des beurres en provenance de la même laiterie

| Nos<br>des<br>Laiter-<br>ies | JUIN                    |          |                         | AOÛT-SEPTEMBRE          |          |                         |
|------------------------------|-------------------------|----------|-------------------------|-------------------------|----------|-------------------------|
|                              | Cuivre<br>$\gamma$ /Kg. | Nitropr. | Durée con.<br>à — 10 °C | Cuivre<br>$\gamma$ /Kg. | Nitropr. | Durée con.<br>à — 10 °C |
| 19                           | 30                      | 1        | > 6 mois                | 40                      | 1.5      | > 6 mois                |
| 60                           | 25                      | 0.5      | 4 »                     | 65                      | 0        | < 2 »                   |
| 61                           | 30                      | 2        | 6 »                     | 35                      | 1        | < 4 »                   |
| 62                           | 25                      | 1        | 6 »                     | 135                     | 1.5      | > 6 »                   |
| 24                           | 25                      | 1.5      | > 6 »                   | 50                      | 1.5      | > 6 »                   |
| 66                           | 35                      | 2.5      | 6 »                     | 30                      | 0.5      | < 2 »                   |
| 48                           | 50                      | 0.5      | < 2 »                   | 20                      | 0.5      | < 2 »                   |
| 68                           | 50                      | 0        | < 2 »                   | 90                      | 0        | < 2 »                   |
| 8                            | 20                      | 1.5      | > 6 »                   | 90                      | 0.5      | < 2 »                   |
| 69                           | 50                      | 2.5      | > 6 »                   | 30                      | 0.5      | < 4 »                   |
| 9                            | 30                      | 1        | 6 »                     | 30                      | 0.5      | < 2 »                   |
| 27                           | 35                      | 0.5      | 2 »                     | 45                      | 0.5      | < 2 »                   |
| 70                           | 20                      | 0        | < 2 »                   | 25                      | 0        | < 2 »                   |
| 73                           | 45                      | 1        | 6 »                     | 60                      | 0.5      | < 2 »                   |
| 11                           | 20                      | 0        | 2 »                     | 25                      | 1        | < 6 »                   |
| 31                           | 30                      | 1.5      | 4 »                     | 35                      | 0.5      | < 2 »                   |
| 74                           | 20                      | 1        | 6 »                     | 80                      | 0.5      | < 2 »                   |
| 75                           | 15                      | 3        | 6 »                     | 15                      | 2.5      | < 6 »                   |
| 76                           | 15                      | 1.5      | > 6 »                   | 35                      | 1.5      | < 6 »                   |
| 77                           | 25                      | 0.5      | > 6 »                   | 10                      | 0.5 1    | < 6 »                   |
| 47                           | 65                      | 2        | 2 »                     | 65                      | 0.5      | < 2 »                   |
| 78                           | 40                      | 0.5      | 2 »                     | 55                      | 1        | < 2 »                   |
| 79                           | 15                      | 1.5      | > 6 »                   | 30                      | 1.5      | 2 à 4 »                 |
| 80                           | 40                      | 0        | < 2 »                   | 35                      | 0        | < 2 »                   |
| 14                           | 25                      | 0        | 4 »                     | 85                      | 0        | < 2 »                   |
| 39                           | 25                      |          |                         | 10                      | 0        | < 2 »                   |
| 82                           | 30                      | 1        | > 6 »                   | 40                      | 1        | < 6 »                   |
| 83                           | 40                      | 0        | 4 »                     | 120                     | 0.5      | < 2 »                   |
| 84                           | 70                      | 2.5      | 6 »                     | 45                      | 0        | < 2 »                   |
| 85                           | 10                      | 1.5      | 6 »                     | 25                      | 3        | < 6 »                   |
| 86                           | 50                      | 0        | 2 »                     | 95                      | 1        | < 2 »                   |
| 87                           | 50                      | 0        | < 2 »                   | 50                      | 0        | < 2 »                   |
| 88                           | 45                      | 0        | < 2 »                   | 35                      | 0.5      | < 6 »                   |
| 17                           | 35                      | 1.5      | > 6 »                   | 20                      | 1        | < 6 »                   |
| 26                           | 30                      | 2        | > 6 »                   | 30                      | 1.5      | < 6 »                   |
| 18                           | 15                      | 2        | > 6 »                   | 20                      | 1.5      | < 6 »                   |
| 49                           | 10                      | 1.5      | 6 »                     | 35                      | 1        | < 6 »                   |

Notons, d'autre part, que nous avons constaté avec satisfaction un gros effort de la part des laiteries pour abaisser la teneur en cuivre

du beurre, en remplaçant le matériel défectueux (cuivre étamé dont le revêtement en étain est en mauvais état ou a même disparu par places) par du matériel en acier inoxydable. A cet égard, remarquons que non seulement le pasteurisateur et le réfrigérant, mais aussi et même surtout le bac de maturation jouent un rôle énorme dans la fixation de la teneur du beurre en cuivre.

Le tableau IV ci-après reproduisant les moyennes annuelles de teneurs du beurre en cuivre à la période de stockage, et cela au cours des six ou sept dernières années, montre, de la part de beaucoup de laiteries, une volonté bien arrêtée d'améliorer les conditions de conservation de leur beurre en améliorant leur matériel.

TABLEAU IV

*Moyennes annuelles des teneurs en cuivre (γ par kg) des beurres de la saison de stockage (mai à septembre)*

| N <sup>os</sup> des Laiteries                            | 1949 | 1950 | 1951 | 1952 | 1953 | 1954 | 1955 |
|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2                                                        | 83   | 105  | 99   | 83   | 85   | 55   | —    |
| 5                                                        | 68   | 103  | —    | —    | —    | 18   | —    |
| 7                                                        | 130  | 62   | 32   | 82   | 45   | 18   | —    |
| 8                                                        | 153  | 146  | 88   | 90   | 83   | 40   | 55   |
| 9                                                        | 110  | 69   | 69   | 152  | 45   | 52   | 30   |
| 10                                                       | 183  | 145  | 116  | 73   | —    | —    | —    |
| 11                                                       | 113  | 153  | —    | 191  | 120  | 65   | 30   |
| 13                                                       | 106  | 97   | 55   | —    | —    | —    | —    |
| 14                                                       | 120  | 95   | —    | —    | —    | —    | 50   |
| 15                                                       | 78   | 67   | 83   | 26   | 46   | 32   | —    |
| 17                                                       | 93   | 88   | 86   | 23   | 23   | 29   | 28   |
| 18                                                       | —    | 50   | —    | 33   | 25   | 16   | 18   |
| 19                                                       | —    | 144  | 115  | 90   | 64   | 57   | 47   |
| 24                                                       | —    | 81   | 84   | 58   | 67   | 30   | 32   |
| 25                                                       | —    | 33   | —    | 55   | 15   | 40   | 40   |
| 26                                                       | —    | 50   | —    | 79   | 72   | 31   | 30   |
| 34                                                       | —    | 70   | 51   | 29   | 23   | 20   | —    |
| 40                                                       | —    | —    | 35   | 61   | 25   | 25   | —    |
| 42                                                       | —    | —    | —    | 99   | 26   | 25   | —    |
| 45                                                       | —    | —    | —    | 68   | 31   | —    | 30   |
| 46                                                       | —    | —    | —    | 94   | 10   | 23   | —    |
| 49                                                       | —    | —    | —    | —    | 38   | 35   | 23   |
| 51                                                       | —    | —    | —    | —    | 28   | 23   | 20   |
| 6                                                        | —    | 254  | —    | —    | 178  | —    | —    |
| 16                                                       | 418  | 247  | 579  | 329  | 346  | —    | —    |
| 30                                                       | —    | 245  | 201  | —    | 213  | 265  | —    |
| 43                                                       | —    | —    | —    | 217  | 211  | 198  | —    |
| Moyennes de 14 beurres correspondants (série supérieure) |      | 87   |      |      |      | 36   |      |

Seules les quatre laiteries figurant dans la partie inférieure du tableau n'ont fait aucun effort dans ce domaine.

Qu'il y ait, d'autre part, pour une même laiterie une certaine constance de teneur en cuivre, de moins au cours des mois de stockage, cela est établi clairement dans le tableau V qui donne les teneurs en cuivre enregistrées au cours d'une année sur des beurres en provenance d'une trentaine de laiteries des diverses régions du pays, d'une part, au mois de janvier, d'autre part, aux mois de mai, juin et août-septembre. Dans quelques cas, il y a de fortes variantes qui s'expliquent sans doute surtout par l'emploi de deux appareils différents, souvent deux bacs de maturation différents, dont l'un est en bon état et l'autre, en mauvais état.

Relevons également au passage la forte différence de teneur en cuivre entre les échantillons d'hiver et les échantillons prélevés à la bonne saison. Cela tendrait à confirmer nettement les constatations hollandaises en la matière (11). Certains chiffres cités par MULDER H. et KOPPEJAN C. A. (33) laisseraient supposer que la date de la mise-bas pourrait être une cause de cette différence.

#### Teneur en cuivre et pH

Nous avons été amenés au cours de nos travaux, à effectuer de nombreux essais de fabrication de beurres, de divers types et surtout de divers pH, préparés à partir des mêmes crèmes, soit que celles-ci aient subi une fermentation normale (pH 4,8 à 4,4), soit qu'elles n'aient pas subi la moindre fermentation (crèmes douces) ; dans d'autres cas, le beurre fait à partir de crèmes acidifiées a été neutralisé en cours de malaxage.

Le tableau VI ci-après indique la teneur en cuivre des beurres faits au cours de ces essais comparatifs semi-industriels.

Il semble se manifester de façon régulière que, pour les beurres à teneurs élevées en cuivre, la teneur en cuivre des beurres doux est fortement inférieure à la teneur en cuivre des beurres faits de crèmes fermentées, et, en général, la diminution de la teneur en cuivre va même jusqu'à 50 % en moyenne, comme le montre la moyenne établie pour les beurres de 1951.

Si, d'ailleurs, nous choisissons dans l'ensemble du tableau les beurres de crèmes fermentées ayant une teneur en cuivre supérieure à 100 γ par kg nous constatons que pour ces beurres la moyenne des teneurs en cuivre s'établit à 139,4 γ par kg, tandis qu'elle ne s'élève qu'à 62,9 γ pour les beurres doux correspondants soit une diminution de plus de 50 %.

Par contre, si nous choisissons les beurres de crèmes fermentées ayant des teneurs en cuivre comprises, d'une part, entre 50 et 100 γ, et, d'autre part, inférieures à 50 γ, nous obtenons pour ces beurres des

TABLEAU V

*Teneurs en cuivre des divers échantillons issus de la même laiterie*  
( $\gamma$  · kg)

| N <sup>os</sup> des<br>laiteries | Janvier | Mai     | Juin    | Septembre |
|----------------------------------|---------|---------|---------|-----------|
| 19                               | 35      | 70      | 30      | 40        |
| 60                               | 105     | 35      | 25      | 65        |
| 61                               | 35      | 55      | 30      | 35        |
| 62                               | 40      | 25      | 25      | 135       |
| 63                               | 80      | 20      | 35      |           |
| 64                               | 95      | 45      | 20      |           |
| 65                               | 10      | 25      | 30      |           |
| 24                               | 40      | —       | 25 - 20 | 50        |
| 66                               | 45      | 25      | 35      | 30        |
| 48                               | 80      | 45      | 50      | 20        |
| 67                               | 60      | 25      | 45      | —         |
| 68                               | 40      | 100     | 50      | 90        |
| 8                                | 50      | —       | 20      | 90        |
| 69                               | 80      | 25      | 50      | 30        |
| 9                                | 75      | —       | 30      | 30        |
| 27                               | 70      | 20      | 35      | 45        |
| 70                               | 50      | 70      | 20      | 25        |
| 71                               | 125     | —       |         | 80        |
| 72                               | 110     | 45      | 90      |           |
| 73                               | 135     | 45      | 45      | 60        |
| 11                               | 200     | 45      | 20 - 35 | 25        |
| 31                               | 120     | 60      | 30      | 35        |
| 74                               | 175     | 30      | 20      | 80        |
| 75                               | 70      | 35      | 15      | 15        |
| 76                               | 100     | 35      | 15      | 35        |
| 77                               | 40      | 30      | 25      | 10        |
| 47                               | 100     | 120     | 65      | 65        |
| 78                               | 45      | 45      | 40      | 55        |
| 79                               | 45      | 35 - 25 | 15      | 30        |
| 80                               | 80      | 65      | 40      | 35        |
| 14                               | 95      | 40      | 25      | 85        |
| 81                               | 90      | 50      | 60      | —         |
| 39                               | —       | 25      | 25      | 10        |
| 82                               | 15      | 35      | 30      | 40        |
| 83                               | 190     | 40      | 40      | 120       |
| 84                               | 95      | 20      | 70      | 45        |
| 85                               | 40      | 25      | 10      | 25        |
| 86                               | 45      | 60      | 50      | 15        |
| 87                               | 120     | 30      | 50      | 50        |
| 88                               | 110     | 35      | 45      | 35        |
| 17                               | —       | —       | 35      | 20        |
| 26                               | —       | —       | 30      | 30        |
| 18                               | —       | —       | 15      | 20        |
| 49                               | —       | —       | 10      | 35        |

TABLEAU VI  
*Teneur en cuivre ( $\gamma$  par kg)*  
*dans des beurres d'essais comparatifs de fabrication*  
 (les n° en regard l'un de l'autre indiquent les beurres correspondants)

| BEURRES DOUX       |        | BEURRES ACIDES |        | BEURRES NEUTRALISÉS          |        |      |
|--------------------|--------|----------------|--------|------------------------------|--------|------|
| N°                 | cuivre | N°             | cuivre | N°                           | cuivre | pH   |
| 1951               |        |                |        |                              |        |      |
| 2                  | 79     | 3              | 71     | 4                            | 71     |      |
| 6                  | 47     | 7              | 65     |                              |        |      |
| 26                 | 12     | 27             | 76     |                              |        |      |
| 30                 | 49     | 33             | 103    |                              |        |      |
| 31                 | 49     |                |        |                              |        |      |
| 32                 | 35     |                |        |                              |        |      |
| 39                 | 27     | 41             | 65     | 64                           | 50     | 5.1  |
| 53                 | 55     | 54             | 116    |                              |        |      |
| 65                 | 103    | 63             | 110    |                              |        |      |
| 67                 | 41     | 69             | 64     |                              |        |      |
| 83                 | 35     | 84             | 155    |                              |        |      |
| 99                 | 68     | 100            | 126    |                              |        |      |
| Moyennes 1951      | 51,6   |                | 95,1   |                              |        |      |
| 1952               |        |                |        |                              |        |      |
| 21                 | 80     | 22             | 85     |                              |        |      |
| 29                 | 75     | 30             | 85     |                              |        |      |
| 35                 | 40     | 36             | 60     | 38                           | 55     | 5.25 |
| 51                 | 133    | 52             | 255    | 54                           | 50     | 6.3  |
| 70                 | 70     | 72             | 65     | 71                           | 65     | 6.7  |
| 95                 | 55     | 97             | 153    | 98                           | 40     | 6.4  |
|                    |        |                |        | 96                           | 119    | 5.25 |
| 137                | 37     | 138            | 138    | 140                          | 84     | 6.4  |
| 150                | 76     | 152            | 77 —   | 139                          | 48     | 5.4  |
| 157                | 28     | 158            | 58 —   | 160                          | 66     | 5.3  |
|                    |        |                |        | 159                          | 58     | 5.4  |
| 178                | 19     | 179            | 108    |                              |        |      |
| Moyennes 1952      | 61,3   |                | 108,4  |                              |        |      |
| 1953               |        |                |        |                              |        |      |
| 8                  | 75     | 7              | 130    | 10                           | 25 ×   | 5.2  |
| 12                 | 65     | 14             | 50     | 15                           | 65 ×   | 6.8  |
|                    |        | 17             | 90     | 18                           | 45 ×   | 6.2  |
|                    |        |                |        | 19                           | 40 ×   | 6.4  |
| 34                 | 65     | 35             | 55     | 36                           | 60 ×   | 5.7  |
|                    |        |                |        | 37                           | 70 ×   | 5.8  |
| 49                 | 30     | 52             | 60     | 50                           | 40 ×   | 6.1  |
|                    |        |                |        | 51                           | 40 ×   | 7.3  |
| 64                 | 25     | 66             | 15     | 65                           | 15 ×   | 7.1  |
| 77                 | 25     | 80             | 45     | 78                           | 45 ×   | 6.8  |
|                    |        |                |        | 79                           | 40     | 7.7  |
| 113                | 15     | 114            | 30     | 115                          | 55 ×   | 5.5  |
|                    |        |                |        | 116                          | 15 ×   | 7.45 |
| 130                | 15     | 131            | 30     | 132                          | 30 ×   | 7.7  |
| 1954               |        |                |        | × = neutralisés au malaxage. |        |      |
| 7                  | 29     | 6              | 10     |                              |        |      |
| Moyennes 1953-1954 | 38,2   |                | 47,2   |                              |        |      |

moyennes respectives de 68,1 et de 30  $\gamma$  par kg, tandis que nous aurons 51,5 et 29  $\gamma$  pour les moyennes des beurres doux correspondants.

La chute de teneur en cuivre serait d'autant plus forte que le beurre fait de crème acide a une teneur en cuivre plus élevée. Lorsque ce dernier beurre a une teneur en cuivre relativement faible, cette chute devient minime ou nulle.

Les mêmes tendances s'observent si on compare les teneurs en cuivre des beurres faits de crèmes fermentées et des beurres neutralisés. Ici, cependant, les variations paraissent plus désordonnées : le pH atteint varie ; certains produits neutralisants employés n'étaient peut-être pas purs.

De toute façon, les moyennes pour les catégories de beurres envisagées ci-dessus, sont les suivantes :

| BEURRES DE CREMES<br>FERMENTEES        |                 | BEURRES<br>NEUTRALISES<br>correspondants |
|----------------------------------------|-----------------|------------------------------------------|
| <i>Catégories<br/>de teneurs en Cu</i> | <i>Moyennes</i> | <i>Moyennes</i>                          |
| > 100 $\gamma$ de Cu                   | 157.2           | 54.2                                     |
| 50 à 100 $\gamma$ de Cu                | 65.5            | 57.2                                     |
| < 50 $\gamma$ de Cu                    | 34              | 37.6                                     |

Remarquons que, de toute façon, l'action du pH ne s'expliquerait que partiellement par cette diminution de la teneur en cuivre et que l'ionisation du cuivre et le mode de fixation des ions cuivre doivent être plutôt les éléments ou certains des éléments expliquant cette action (16).

## II. — L'influence du traitement thermique des crèmes

Les spécialistes qui se sont déjà occupés de l'aptitude des beurres à la conservation en frigo, ont toujours recommandé la pasteurisation à température élevée (12-13-14-15-16-29), et certains même ont recommandé la double pasteurisation (17-18).

Dans une publication antérieure (1) nous avons dû concéder que souvent, il n'était pas aisé de faire ressortir le rôle joué par ce facteur surtout à cause de l'irrégularité dans les températures de traitement.

Le mécanisme de cette action du chauffage à haute température sur le lait ou ses dérivés a été cependant analysé en détail par divers spécialistes (19-20-21-22-23-24-25-26) qui ont souligné notamment le rôle joué par les groupements sulfhydriles résultant de l'action du chauffage sur certains produits du lait, notamment la  $\beta$  lactoglobuline (22).

Les méthodes de recherches de ces groupements sulfhydriles ont fait l'objet de nombreuses études (19-21-22-23-25-26).

Pour des raisons de facilité, le test ne nécessitant pas l'emploi d'un équipement spécial et étant d'une exécution très simple, nous avons choisi jusqu'ici pour la recherche des sulfhydriles, le test du nitro-prussiate, test mis au point dans son exécution par JOSEPHSON D. V. et DOAN F. J. et ce, suivant la technique recommandée par ces derniers (26). Notons que l'étude des applications de ce test avait été faite par PATTON STUART et JOSEPHSON D. V. (25), et que TOWNLEY R. C. et GOULD I. A. avaient notamment comparé les données qu'il fournit à celles que l'on obtient par un dosage des sulfures volatils suivant une technique mise au point par eux (20).

Nous avons notamment pu constater que le test en question permet de très bien différencier les résultats obtenus avec diverses modalités de pasteurisation dont l'emploi peut être envisagé dans le cas des crèmes.

Considérant que plus de 30 % des beurres à faible teneur en cuivre (moins de 50  $\gamma$  par kg) présentent encore le goût de poisson au bout de 6 mois de conservation à  $-10^{\circ}\text{C}$ , nous avons donc repris l'étude des autres facteurs susceptibles de contrôler le comportement des beurres en cours de conservation au froid, et notamment, en premier lieu, ce facteur du degré de sévérité du traitement thermique. Les observations faites jusqu'ici et tirées des caractères du traitement de pasteurisation, ne nous permettaient pas, à cause des grandes variations de débit, donc de durée de séjour des crèmes dans le pasteurisateur, à cause des variations de température, à cause des caractéristiques propres d'action de chaque type de pasteurisateur, d'obtenir des indications précises. Nous avons donc axé nos observations *sur les effets du traitement thermique sur les crèmes*, à savoir la teneur en sulfhydriles.

Le tableau VII ci-après, reproduit les résultats de quelques essais initiaux effectués sur des beurres fabriqués à la Station Laitière en 1954. Notons que les chiffres de peroxyde sont les chiffres relevés sur les échantillons conservés 8 jours à  $13^{\circ}\text{C}$  après la sortie du frigo. Le peroxyde a toujours été déterminé par la méthode de LOFTUS HILLS et THIEL (27). En général, pour ces essais, l'écart de température a été trop fort et le problème devra être repris de plus près.

Tenant compte de ce rôle déterminant du traitement de pasteurisation, nous avons soumis au test des sulfhydriles tous les beurres qui ont été mis en conservation au cours de la campagne, tant les beurres préparés en laiterie que les beurres faits à la Station.

TABLEAU VII

*Influence du traitement thermique*

| N°<br>beurre | N°<br>laiterie | Traitement                     | Cuivre<br>γ/Kg | pH   | Test<br>Nitropr. | EXPERTISE     |          |               | PEROXYDE |        |        |
|--------------|----------------|--------------------------------|----------------|------|------------------|---------------|----------|---------------|----------|--------|--------|
|              |                |                                |                |      |                  | 2 mois        | 4 mois   | 6 mois        | 2 mois   | 4 mois | 6 mois |
| 25           | 9              | past. 94°                      | 10             | 4,5  | 4                | 34            | 32,5     | 33            | 0,13     | 0,22   | 0,35   |
| 26           | 9              | past. rapide<br>à 85°/88/83 °C | 30             | 4,7  | 4                | 33,5          | 36       | 33            | 0,16     | 0,22   | 0,21   |
| 37           | 5              | past. 94 °C                    | 25             | 4,5  | —                | 37,5          | 34       | 29            | 0,22     | 0,16   | 0,21   |
| 39           | 5              | past. rapide<br>à 78°          | 45             | 4,5  | —                | 20<br>poisson | 32       | lég pois.     | 1,91     | 3,78   | 4,78   |
| 43           | 24             | past. 94/95 °C                 | 25             | 4,5  | 2                | 32,5          | 32       | 36            | 0,18     | 0,20   | 0,11   |
| 45           | 24             | past. 76/78 °C                 | 25             | 4,6  | 0                | 20<br>poisson | 20 pois. | 35            | 1,36     | 2,47   | 3,40   |
| 73           | 49             | past. 80/82 °C                 | 30             | 4,45 | 0                | 32,5          | 35       | 35            | 0,59     | 2,19   | 5,32   |
| 74           | 49             | past. 95 °C                    | 15             | 4,50 | 1 - 2            | 37,5          | 32       | 33            | 0,16     | 0,13   | 0,15   |
| 84           | 5              | past. 83 °C                    | 45             | 4,4  | 0                | 34            | 32       | 33            | 0,38     | 0,45   | 0,96   |
| 85           | 5              | past. 95 °C                    | 45             | 4,3  | 1 - 2            | 32            | 32       | 35            | 0,40     | 0,21   | 0,19   |
| 90           | 17             | past. 91 °C                    | 50             | 4,8  | 0 - 1            | 37,5          | 35       | 37            | 0,24     | 0,05   | 0,13   |
| 92           | 17             | past. 82 °C                    | 10             | 4,7  | 0                | 35            | 35       | 35            | 0,30     | 0,18   | 0,62   |
| 95           | 8              | past. 94 °C                    | 25             | 4,4  | 1                | 35            | 35       | 35            | 0,20     | 0,10   | 0,24   |
| 97           | 8              | past. 82 °C                    | 15             | 4,5  | 0                | 34            | 30       | 28<br>poisson | 0,30     | 1,46   | 1,46   |
| 103          | 9              | past. 82 °C                    | 15             | 4,5  | 1                | 40            | 40       | 36            | 0,14     | 0,16   | 0,36   |
| 105          | 9              | past. 94 °C                    | 15             | 4,6  | 1 - 2            | 36            | 35       | 27            | 0,16     | 0,20   | 0,48   |

TABLEAU VIII

| Test<br>nitro-<br>prussiate | Cuivre<br>γ/Kg | N°  | pH   | EXPERTISE         |             |                | PEROXYDE |        |        |
|-----------------------------|----------------|-----|------|-------------------|-------------|----------------|----------|--------|--------|
|                             |                |     |      | 2 mois            | 4 mois      | 6 mois         | 2 mois   | 4 mois | 6 mois |
| 0                           | 10             | 92  | 4,7  | 35                | 35          | 35             | 0,30     | 0,18   | 0,62   |
|                             | 15             | 97  | 4,5  | 34                | 30          | 28 poisson     | 0,30     | 1,46   | 1,46   |
|                             | 20             | 50  | 4,4  | 30                | 30          | 28 poisson     | 0,35     | 0,48   | 0,77   |
|                             | 20             | 76  | 4,6  | 25                | 26          | —              | 0,7      | 1,36   | 2,80   |
|                             | 21             | 111 | 4,6  | 15 poisson        | 37,5        | —              | 1,22     | 1,65   | 3,47   |
|                             | 25             | 53  | 4,6  | 35                | 38          | 33,5           | 0,22     | 0,38   | 0,56   |
|                             | 25             | 45  | 4,6  | 20 poisson        | 38          | —              | 1,36     | 2,47   | 3,40   |
|                             | 30             | 40  | 4,55 | 37,5              | 20 poisson  | 32,5 poisson   | 0,31     | 0,36   | 0,30   |
|                             | 30             | 73  | 4,45 | 32,5              | 35          | 24 poisson     | 0,09     | 2,19   | 5,32   |
|                             | 35             | 108 | 4,8  | 35                | 35          | 24 poisson     | 0,20     | 0,64   | 1,48   |
|                             | 40             | 100 | 4,45 | 35                | 32          | 33             | 0,38     | 0,45   | 0,96   |
|                             | 45             | 84  | 4,4  | 34                | 20 poisson  | —              | 1,39     | 1,00   | 2,84   |
|                             | 50             | 23  | 4,5  | 27 léger pois.    | poisson     | —              | 0,77     | 2,28   | 3,71   |
|                             | 50             | 58  | 4,7  | 22,5 poisson      | poisson     | —              | 1,59     | 2,31   | 2,84   |
|                             | 55             | 24  | 4,5  | 29 tr. lég. pois. | poisson     | —              | 1,09     | 1,41   | 3,11   |
| 0 1                         | 55             | 31  | 4,5  | 33                | 27 poisson  | 15 poisson     | 1,07     | 1,93   | —      |
|                             | 65             | 98  | 4,55 | 24 poisson        | 30 graineur | —              | 0,70     | 1,96   | —      |
|                             | 70             | 106 | 4,50 | 29 poisson        | 25 poisson  | —              | 0,79     | 1,03   | —      |
|                             | 78             | 5   | 4,8  | 30                | —           | —              | —        | —      | 3,16   |
|                             | 20             | 83  | 4,8  | 30                | 31          | 27,5           | 0,69     | 1,01   | 2,75   |
|                             | 15             | 94  | 4,6  | 40                | 33,5        | 29             | 0,15     | 0,14   | 0,39   |
|                             | 15             | 104 | 4,55 | 36                | 36          | 29             | 0,14     | 0,20   | 0,32   |
|                             | 45             | 89  | 5,1  | 35                | 36          | 36             | 0,29     | 0,09   | 0,12   |
|                             | 50             | 90  | 4,8  | 37,5              | 35          | 37             | 0,24     | 0,05   | 0,13   |
|                             | 10             | 77  | 4,8  | 32,5              | 32          | 34             | 0,15     | 0,14   | 0,13   |
|                             | 10             | 71  | 4,45 | 25 poisson        | 20 poisson  | 25 poisson     | 0,36     | 0,66   | 1,10   |
|                             | 10             | 6   | 4,8  | 37,5              | 33          | 31 mét.-grais. | 0,21     | 0,22   | 0,92   |

|       |                                                                            |                                                                            |                                                                                          |                                                                                                        |                                                                                                                  |                                                                                                      |                                                                                                                              |                                                                                                              |                                                                                                      |
|-------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       | 10<br>11<br>15<br>15<br>20<br>25<br>25<br>25<br>25<br>50<br>50<br>55<br>55 | 67<br>8<br>103<br>69<br>91<br>75<br>95<br>35<br>47<br>12<br>72<br>68<br>93 | 4,5<br>4,5<br>4,5<br>4,6<br>4,6<br>4,9<br>4,4<br>4,9<br>4,3<br>4,4<br>4,35<br>4,4<br>4,6 | 37,5<br>26 vieille cr.<br>40<br>35<br>37,5<br>37,5<br>35<br>34<br>35<br>36<br>37<br>27,5 poisson<br>38 | 31,<br>24 graisseux<br>40<br>32<br>35<br>35<br>34<br>35<br>33<br>32,5<br>30<br>30<br>20 poisson<br>32 lig. pois. | 25 poisson<br>28 vieille cr.<br>36<br>33<br>36<br>34<br>35<br>33<br>—<br>poisson<br>30<br>23 poisson | 0,16<br>0,73<br>0,14<br>0,12<br>0,26<br>0,14<br>0,20<br>0,20<br>0,09<br>0,11<br>0,22<br>0,41<br>0,15<br>0,25<br>0,13<br>0,16 | 0,20<br>0,65<br>0,16<br>0,21<br>0,05<br>0,14<br>0,10<br>0,11<br>0,36<br>0,41<br>0,33<br>0,36<br>1,06<br>0,54 | 0,49<br>0,82<br>0,36<br>0,57<br>0,15<br>0,13<br>0,24<br>0,36<br>0,75<br>1,14<br>1,26<br>2,39<br>1,94 |
| 1 à 2 | 15<br>15<br>25<br>45                                                       | 105<br>74<br>70<br>85                                                      | 4,6<br>4,5<br>4,4<br>4,3                                                                 | 36<br>37,5<br>35<br>32                                                                                 | 35<br>35<br>38<br>32                                                                                             | 27<br>35<br>35<br>35                                                                                 | 0,16<br>0,16<br>0,20<br>0,40                                                                                                 | 0,20<br>0,13<br>0,19<br>0,21                                                                                 | 0,48<br>0,15<br>0,29<br>0,19                                                                         |
| 2     | 10<br>10<br>10<br>14<br>15<br>15<br>25<br>23<br>25<br>30<br>40<br>50<br>70 | 13<br>61<br>107<br>9<br>11<br>86<br>62<br>1<br>43<br>44<br>33<br>63<br>59  | 4,5<br>5,0<br>4,5<br>4,6<br>4,6<br>5,0<br>4,7<br>4,6<br>4,5<br>4,4<br>4,3<br>4,9<br>4,7  | 35<br>30<br>38<br>40<br>37<br>35<br>35<br>36<br>32,5<br>27,5<br>34<br>35<br>35                         | 35<br>35<br>36<br>40<br>37,5<br>34,5<br>33<br>37,5<br>32<br>32,5<br>34 poisson<br>34<br>37,5                     | 34<br>34<br>35<br>35<br>37<br>37,5<br>33<br>37,5<br>36<br>27 poisson<br>35<br>33                     | 0,09<br>0,12<br>0,13<br>0,16<br>0,09<br>0,37<br>0,11<br>0,11<br>0,18<br>0,17<br>0,16<br>0,14<br>0,09<br>0,23                 | 0,14<br>0,07<br>0,16<br>0,20<br>0,12<br>0,16<br>0,06<br>0,11<br>0,20<br>0,20<br>0,16<br>0,40<br>0,06<br>0,41 | 0,28<br>0,21<br>0,37<br>0,69<br>0,38<br>0,13<br>0,21<br>0,09<br>0,11<br>0,29<br>0,40<br>0,21<br>1,05 |
| 2 à 3 | 30                                                                         | 102                                                                        | 4,5                                                                                      | 37,5                                                                                                   | 37,5                                                                                                             | 34                                                                                                   | 0,24                                                                                                                         | 0,21                                                                                                         | 0,63                                                                                                 |

Dans le tableau VIII nous avons rangé tous ces beurres suivant les résultats donnés au test au nitroprussiate, donc suivant la sévérité du traitement thermique qu'ils ont subi. Dans chacune des catégories (0 — 0-1 — 1 — 1 à 2 — 2 à 3) créées ainsi sur la base de la teneur croissante en sulfhydriles, nous avons rangé les beurres par teneurs croissantes en cuivre et nous avons en même temps indiqué le pH du beurre, autre élément susceptible de jouer un rôle essentiel dans l'aptitude à la conservation. Les résultats de conservation sont jugés à la fois par les cotations d'expertise avec les appréciations des défauts, et par les indices de peroxyde relevés 8 jours après la sortie du frigo, le beurre étant conservé entretemps à 13 °C. Les beurres ont été ainsi examinés après 2, 4 et 6 mois de conservation à — 10 °C.

Le tableau IX ci-après synthétise les données fournies par le tableau VIII.

TABLEAU IX

| Test nitroprussiate | Teneur en cuivre<br>γ Kg. | Nombre total | des beurres à goût de poisson * |           |           |
|---------------------|---------------------------|--------------|---------------------------------|-----------|-----------|
|                     |                           |              | en 2 mois                       | en 4 mois | en 6 mois |
| 0                   | 0 à 20                    | 4            | 25                              | 25        | 75        |
|                     | 21 à 40                   | 7            | 28,5                            | 42,85     | 85,7      |
|                     | 40 à 50                   | 3            | 66,6                            | 66,6      | 66,6      |
|                     | + de 50                   | 5            | 60                              | 100       | 100       |
| 0 - 1               | jusque 50                 | 4**          | 0                               | 0         | 0         |
| 1                   | 0 à 25                    | 12           | 8,3                             | 8,3       | 25        |
|                     | 50 à 55                   | 4            | 25                              | 50        | 75        |
| 1 à 2               | 15 à 45                   | 4            | 0                               | 0         | 0         |
| 2 et plus           | 0 à 30                    | 9**          | 0                               | 0         | 0         |
|                     | 40 à 70                   | 3            | 0                               | 33,3      | 33,3      |

\*\* En négligeant les échantillons de pH > 5,0.

\* Il y a d'autres types d'altérations dont nous n'avons pas tenu compte.

Ce tableau montre nettement qu'en l'absence d'un traitement thermique suffisant, un pourcentage élevé des beurres est sujet à altération, même si la teneur en cuivre est réduite à sa plus simple expression et que, par contre, un traitement thermique sévère de crèmes à faible teneur en cuivre permet d'éviter les accidents de conservation.

Au cours de la campagne 1955-1956, nous avons fait un examen de la teneur en cuivre de tous les beurres belges de laiterie, afin de pouvoir opérer un choix de beurres qui, à raison de leur teneur en cuivre, seraient susceptibles de se conserver, et dont nous ne connaissions pas jusque là l'aptitude à la conservation en frigo. Ce triage préalable nous mettait donc en possession du meilleur matériel pour étudier le rôle du second facteur dont l'influence se manifestait, à savoir la teneur en sulfhydriles.

TABLEAU X

Relation entre la teneur en sulphydrides et la conservation

1° TEST AU NITROPRUSSIATE = 0

| N° des<br>laiteries | N° des<br>beurres | Cu<br>γ/Kg | pH   | EXPERTISE                |                          |                                 | PEROXYDE après 8 jours |        |        |
|---------------------|-------------------|------------|------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------|--------|--------|
|                     |                   |            |      | 2 mois                   | 4 mois                   | 6 mois                          | 2 mois                 | 4 mois | 6 mois |
| 14                  | 6                 | 25         | 4.75 | 35                       | 35                       | 33 graisseur                    | 0.41                   | 0.86   | 1.50   |
| 11                  | 8                 | 20         | 4.55 | 36                       | 25<br>tend vers poisson  | 32<br>vielle crème<br>poisson   | 1.07                   | 1.64   | 2.05   |
| 68                  | 12                | 50         | 4.45 | poisson                  | poisson                  | 30 graisseur                    | 2.05                   | 3.64   | 4.30   |
| 87                  | 14                | 30         | 4.5  | 32 métal<br>lég. poisson | poisson                  |                                 | 1.02                   | 2.22   | 2.52   |
| 88                  | 26                | 45         | 4.5  | poisson                  | poisson                  | poisson                         | 0.73                   | —      | 2.25   |
| 80                  | 28                | 40         | 4.55 | poisson                  | poisson                  | poisson                         | 1.75                   | —      | 4.32   |
| 86                  | 30                | 50         | 4.65 | 37                       | 28<br>début poisson      | poisson                         | 0.31                   | —      | 2.22   |
| 70                  | 37                | 20         | 5.05 | 30 lég. poisson          | 30 oxydé                 | 28 graisseur                    | 1.73                   | 3.52   | 4.07   |
| 67                  | 38                | 45         | 4.55 | 31 lég. poisson          | 26 oxydé                 | oxydé                           | 2.06                   | —      | 3.93   |
| 83                  | 41                | 40         | 4.5  | 34<br>vielle crème       | 34<br>vielle crème       | poisson                         | 0.47                   | 1.38   | 1.69   |
| 84                  | 66                | 45         | 4.6  | poisson                  | poisson                  | poisson                         | 2.4                    | 2.84   | 4.36   |
| 87                  | 76                | 50         | 4.5  | 29 fromage               | poisson                  | poisson                         | 1.85                   | 2.35   | 3.26   |
| 70                  | 77                | 25         | 4.5  | 33<br>un peu métal       | 34 passé                 | poisson                         | 0.49                   | 0.75   | 1.74   |
| 39                  | 119               | 10         | 4.70 | 34 graisseur             | 25 oxydé<br>vielle crème | 31<br>vielle crème<br>graisseur | 0.48                   | 0.97   | 1.15   |
| 80                  | 123               | 35         | 4.15 | 28 métal                 | 25 poisson               | poisson                         | 1.24                   | 2.67   | 3.13   |

## 2° TEST AU NITROPRUSSATE = 0,5

|    |     |    |      |                 |              |               |      |      |      |
|----|-----|----|------|-----------------|--------------|---------------|------|------|------|
| 60 | 13  | 25 | 4,7  | 36              | 37,5         | 34 passé      | 0,21 | 0,91 | 1,46 |
| 78 | 17  | 40 | 4,35 | 35              | 32 métal.    | 28 gâté       | 0,36 | 1,01 | 1,68 |
| 77 | 31  | 25 | 4,4  | 35              | 35           | 34            | 0,20 | 0,17 | 0,36 |
| 77 | 32  | 35 | 4,1  | 35              | 33 passé     | poisson       | 0,27 | 1,33 | 1,58 |
| 48 | 42  | 50 | 4,3  | 25              | 28           | poisson       | 0,57 |      | 2,39 |
|    |     |    |      | lég. acide      |              |               |      |      |      |
| 77 | 65  | 10 | 4,7  | 37              | 37           | 36            | 0,25 | 0,15 | 0,24 |
| 69 | 67  | 30 | 4,4  | 34              | 34,5         | 25            | 0,32 | 0,33 | 1,25 |
|    |     |    |      |                 |              | lég. pois.    |      |      |      |
| 66 | 90  | 30 | 4,55 | 36              | 32 grains.   | 32            | 0,36 | 0,87 | 1,39 |
|    |     |    |      |                 |              | vieille crème |      |      |      |
| 88 | 95  | 35 | 4,4  | 35              | 35           | 35            | 0,16 | 0,4  | 0,40 |
| 9  | 106 | 30 | 4,45 | 30 métal        | 25 poisson   | gâté.         | 0,43 | 1,74 | 2,62 |
|    |     |    |      |                 |              | pourri.       |      |      |      |
| 48 | 111 | 20 | 4,60 | 28 poisson      | 27 poisson   | 25 poisson    | 1,1  | 2,31 | 2,77 |
| 31 | 112 | 35 | 4,4  | 30 oxydé        | 32 oxydé     | 25 tr. oxydé  | 0,21 | 1,02 | 1,39 |
|    |     |    |      | frais 31 oxydé) |              | graisseux     |      |      |      |
| 27 | 121 | 45 | 4,6  | 35              | 33 graisseur | 32 oxydé      | 0,14 | 0,70 | 1,11 |
|    |     |    |      |                 |              | léger pois.   |      |      |      |

## 3° TEST AU NITROPRUSSATE 1

|    |     |    |      |             |            |               |      |      |      |
|----|-----|----|------|-------------|------------|---------------|------|------|------|
| 74 | 27  | 20 | 4,45 | 34          | 35         | 34            | 0,23 | 0,75 | 0,94 |
| 73 | 34  | 45 | 4,55 | 35          | 35         | 35            | 0,21 | 0,82 | 0,97 |
| 82 | 35  | 30 | 4,6  | 36          | 35         | 34            | 0,25 | 0,30 | 0,31 |
| 62 | 40  | 25 | 4,55 | 32 oxydé    | 36         | 33 oxydé      | 0,30 | 0,57 | 0,44 |
| 9  | 43  | 30 | 4,45 | 35          | 37         | 34            | 0,20 | 0,36 | 0,72 |
| 19 | 44  | 30 | 4,40 | 31,5        | 35         | 34            | 0,21 | 0,55 | 0,41 |
| 11 | 64  | 35 | 4,45 | 35          | 35         | 35            | 0,16 | 0,29 | 0,46 |
| 11 | 82  | 25 | 4,7  | 31 oxydé    | 32 cas.    | 30            | 0,27 | 0,11 | 0,51 |
|    |     |    |      | 32          |            | vieille crème |      |      |      |
|    |     |    |      | frais oxydé |            |               |      |      |      |
| 61 | 89  | 35 | 4,45 | 37          | 28 grains. | 30 passé      | 0,47 | 0,15 | 1,34 |
|    |     |    |      |             | lég. pois. |               |      |      |      |
| 49 | 93  | 35 | 4,45 | 36          | 36         | 34            | 0,12 | 0,24 | 0,13 |
|    |     |    |      |             |            | un peu passé  |      |      |      |
| 82 | 103 | 40 | 4,50 | 38          | 38         | 38            | 0,18 | 0,22 | 0,17 |
| 17 | 124 | 20 | 5,3  | 36          | 35         | 35            | 0,04 | 0,20 | 0,14 |

## 4° TEST AU NITROPRUSSIATE = 1.5

|    |     |    |      |                      |          |                            |      |      |      |
|----|-----|----|------|----------------------|----------|----------------------------|------|------|------|
| 24 | 15  | 25 | 4.45 | 37                   | 38       | 35                         | 0.14 | 0.41 | 0.30 |
| 85 | 29  | 10 | 4.45 | 31 gras,<br>32 frais | 32       | 34                         | 0.18 | 0.21 | 0.41 |
| 9  | 33  | 20 | 4.7  | 38                   | 37       | 36                         | 0.20 | —    | 0.33 |
| 79 | 36  | 15 | 4.4  | 37                   | 40       | 37                         | 0.20 | 0.45 | 0.31 |
| 76 | 49  | 15 | 4.45 | 36                   | 38       | 35                         | 0.14 | 0.25 | 0.17 |
| 31 | 50  | 30 | 4.5  | 34                   | 33       | 30 gras,                   | 0.16 | 0.43 | 0.31 |
| 17 | 59  | 35 | 4.6  | 36                   | 35       | 36                         | 0.26 | 0.18 | 0.18 |
| 49 | 70  | 10 | 4.45 | 34 oxydé             | 33       | 34 passé                   | 0.22 | 0.17 | 0.21 |
| 26 | 91  | 30 | 4.45 | 38                   | 36       | 35                         | 0.21 | 0.24 | 0.33 |
| 18 | 92  | 20 | 4.4  | 34                   | 35       | 34 un peu<br>acide et casé | 0.21 | 0.55 | 0.65 |
| 79 | 102 | 30 | 4.6  | 36                   | 30 gras, | 34<br>viciée crème         | 0.31 | 0.56 | 0.92 |
| 19 | 107 | 40 | 4.45 | 35                   | 35       | 34.5                       | 0.15 | 0.25 | 0.30 |
| 76 | 110 | 35 | 4.45 | 36                   | 35       | 35                         | 0.15 | 0.20 | 0.20 |
| 24 | 117 | 50 | 4.55 | 37                   | 35       | 36                         | 0.13 | 0.21 | 0.24 |

## TEST AU NITROPRUSSIATE = 2

|    |    |    |      |      |    |                             |      |      |      |
|----|----|----|------|------|----|-----------------------------|------|------|------|
| 65 | 4  | 30 | 4.5  | 37.5 | 37 | 33<br>métal lég.<br>oxydat. | 0.30 | 0.37 | 0.58 |
| 61 | 21 | 30 | 4.55 | 35   | 37 | 35                          | 0.21 | 0.58 | 1    |
| 24 | 61 | 20 | 4.5  | 38   | 38 | 35                          | 0.25 | 0.33 | 0.90 |
| 26 | 68 | 30 | 4.5  | 36   | 38 | 35                          | 0.25 | 0.28 | 0.28 |
| 18 | 69 | 15 | 4.35 | 33   | 36 | 35                          | 0.2  | 0.13 | 0.15 |

## TEST AU NITROPRUSSIATE = 2.5

|    |    |    |      |         |    |      |      |      |      |
|----|----|----|------|---------|----|------|------|------|------|
| 11 | 10 | 20 | 4.7  | 39.5    | 35 | 36.5 | 0.11 | 0.20 | 0.19 |
| 69 | 20 | 50 | 4.45 | 32 pas, | 37 | 35   | 0.29 | 0.91 | 0.87 |
| 66 | 22 | 35 | 4.5  | 33      | 35 | 34   | 0.25 | 0.47 | 0.50 |
| 75 | 63 | 15 | 4.65 | 37      | 35 | 35   | 0.11 | 0.19 | 0.30 |

## TEST AU NITROPRUSSIATE = 3

|    |    |    |      |    |    |    |      |      |      |
|----|----|----|------|----|----|----|------|------|------|
| 11 | 9  | 25 | 4.6  | 37 | 36 | 35 | 0.16 | 0.20 | 0.19 |
| 11 | 11 | 20 | 4.65 | 38 | 35 | 36 | 0.09 | 0.22 | 0.23 |
| 75 | 25 | 15 | 4.65 | 35 | 36 | 34 | 0.21 | 0.32 | 0.58 |
| 85 | 88 | 25 | 4.5  | 38 | 37 | 35 | 0.41 | 0.15 | 0.30 |

Le tableau X ci-avant nous donne, rangés par catégories de teneurs en sulfhydrides, soit par catégories de résultats au test du nitroprussiate, les critères de composition et de conservation de 69 échantillons de beurre dont la teneur en cuivre était inférieure à 50  $\gamma$  par kg.

Le tableau XI synthétise les données de ces divers tableaux et nous donne, en quelques chiffres, une démonstration vraiment probante de l'influence du traitement thermique sur la conservation en frigo.

TABLEAU XI

| Test au nitroprussiate | Nombre de beurres | BEURRES ALTERES (*) |                 |                |
|------------------------|-------------------|---------------------|-----------------|----------------|
|                        |                   | après 2 mois        | après 4 mois    | après 6 mois   |
| 0                      | 15                | 11 soit 73.33 %     | 13 soit 86.66 % | 15 soit 100 %  |
| 0.5                    | 13                | 3 soit 23 %         | 8 soit 61.5 %   | 10 soit 76.9 % |
| 1                      | 12                | 0                   | 1 ou 8.3 %      | 1 ou 8.3 %     |
| 1.5                    | 15                | 0                   | 1 ou 6.6 %      | 2 ou 13.3 %    |
| 2 et plus              | 14                | 0                   | 0               | 1 ou 7.1 %     |

(\*) On tient note ici de tous les types d'altérations bien nettes.

*Un test au nitroprussiate de 0 correspond généralement à une conservation de moins de 2 mois. Un test de 0.5 correspond à une conservation de 2 à 4 mois. Un test de 1 et plus correspond à une conservation de 6 mois et plus.*

Un examen général des critères de nos beurres quant à la teneur en sulfhydrides nous a confirmé qu'il y avait une situation vraiment à redresser de ce côté. Voici, d'ailleurs globalement le résultat de cette enquête.

*Répartition des laiteries en catégories,  
d'après les résultats du test au nitroprussiate*

| Nitroprussiate | Nombre de laiteries | ... du nombre total des laiteries |
|----------------|---------------------|-----------------------------------|
| 0              | 156                 | 71.23 %                           |
| 0.5            | 34                  | 15.52                             |
| 1              | 14                  | 6.39 %                            |
| 1.5            | 8                   | 3.65 %                            |
| 2              | 4                   | 1.82 %                            |
| 2.5            | 2                   | 0.91                              |
| 3              | 1                   | 0.46                              |

Notons, pour être justes, qu'il s'agit de la situation qui se présentait il y a plus d'un an et qu'elle s'est beaucoup améliorée entretemps.

Quelles sont les *causes* de cette déficience dans les conditions de pasteurisation ?

*Ou bien traitement délibéré à température trop basse.* Nos observations ne sont pas encore assez nombreuses pour fixer, dans tous les cas, la température minimum à atteindre, mais nous estimons que, généralement, celle-ci doit être de l'ordre de 90 à 92 °C.

La plupart du temps, un autre facteur est gravement en défaut, c'est *le temps de séjour dans le pasteurisateur*. Bien souvent, les schémas de montage des installations ou le choix des pompes ne tiennent pas suffisamment compte de cet impératif.

Il n'y a de remède que dans un ralentissement du débit ou, parfois, pour de vieux appareils surtout, dans une augmentation du nombre de plaques.

Un autre défaut se révèle la plupart du temps à l'examen des diagrammes de température de pasteurisation : *le manque de régularité* et même une *grande amplitude de variations de température*, conséquence de grosses variations de débit.

L'installation d'un régulateur de température rend bien souvent de grands services pour obvier à ce défaut.

### III. — Influence du pH

De toutes les influences qui s'exercent sur la conservation, celle du pH est certainement, du point de vue absolu, la plus déterminante. Si nous ne la citons pas en premier lieu dans ce travail, c'est que nous envisageons surtout la conservation des beurres tels que nous les fabriquons normalement, c'est-à-dire des beurres faits de crèmes acidifiées, lavés, non salés. Ces beurres ayant généralement un pH variant seulement de 4.8 à 4.4, cette influence du pH ne s'exerce plus, dans leur cas, que comme facteur d'appoint au lieu d'être un facteur vraiment essentiel.

Initialement, cependant, nous avons tenté de jouer du pH comme du grand facteur déterminant de la conservation en fabriquant des beurres doux, ou des beurres neutralisés soit des beurres faits de crèmes fermentées puis neutralisées avant barattage, ou des beurres neutralisés au malaxage. Nous avons même tenté des essais d'alcalinisation de l'eau de lavage. Nous allons rapporter les résultats de ces essais dont l'intérêt est dépassé pour les laiteries disposant d'un matériel adéquat en acier inoxydable, mais où les laiteries dont le matériel n'est pas encore en ordre, pourront trouver des données profitables.

## Beurres doux

Le tableau XII rapproche les cotations d'expertise et les indices de peroxyde des beurres doux fabriqués au cours des essais.

Il est à remarquer que ces beurres ont parfois tendance à être cotés plus haut en fin de conservation qu'à l'état frais. A l'état frais,

TABLEAU XII

## Beurres doux

(CONSERVATION A — 10 °C)

| N <sup>os</sup> | Cu<br>γ/Kg | Expertise (goût) |        |        |        | Peroxyde |        |        |
|-----------------|------------|------------------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|
|                 |            | frais            | 2 mois | 4 mois | 6 mois | 2 mois   | 4 mois | 6 mois |
| 1951            |            |                  |        |        |        |          |        |        |
| 2               | 79         | 32.5             | 30     | 35     | 32     | 0.4      | —      | 0.28   |
| 6               | 47         | 34               | 35     | 35     | 35     | 0.27     | —      | 0.1    |
| 26              | 12         | 32.5             | 27.5   | 29     | 30     | 0.13     | 0.34   | 0.12   |
| 30              | 49         | 30               | 25     | —      | —      | 0.26     | 0.12   | —      |
| 31              | 49         | 32.5             | 29     | 22.5   | —      | 0.66     | 0.12   | —      |
| 32              | 35         | 32.5             | 28     | 32     | 33     | 0.55     | 0.44   | 0.14   |
| 39              | 27         | 25               | 35     | 35     | 35     | 0.44     | 0.25   | 0.07   |
| 53              | 55         | 37.5             | 34     | 35     | 37     | 0.39     | 0.35   | 0.2    |
| 65              | 103        | 32.5             | 35     | 37     | 38     | 0.67     | 0.19   | —      |
| 67              | 41         | 35               | 35     | 35     | 35     | —        | 0.16   | 0.2    |
| 83              | 35         | 37.5             | 37     | 36     | 35     | 0.3      | 0.2    | 0.4    |
| 99              | 68         | 35               | 38     | 38     | 36     | 0.17     | 0.08   | 0.23   |
| 1952            |            |                  |        |        |        |          |        |        |
| 21              | 80         | 35               | 33     | 27     | 35     | 0.23     | 0.18   | 0.14   |
| 29              | 75         | 34               | 33     | 35     | 36     | 0.18     | 0.14   | 0.11   |
| 35              | 40         | 20               | 32     | 32     | 34     | 0.20     | 0.13   | 0.11   |
| 51              | 133        | 35               | 36     | 35     | 35     | 0.12     | 0.13   | 0.20   |
| 70              | 70         | 40               | 40     | 37     | 36     | 0.11     | 0.11   | 0.13   |
| 95              | 55         | 37.5             | 37.5   | 35     | 35     | 0.13     | 0.18   | 0.39   |
| 137             | 37         | 35               | 35     | 35     | 33     | 0.21     | 0.31   | 0.40   |
| 150             | 76         | 37.5             | 35     | 36     | 35     | 0.09     | 0.31   | 0.43   |
| 157             | 28         | 36               | 35     | 35     | 35.5   | 0.08     | 0.15   | 0.23   |
| 178             | 19         | 35               | 37     | 35     | 37     | 0.09     | 0.11   | 0.14   |
| 1953            |            |                  |        |        |        |          |        |        |
| 8               | 75         | 34               | 30     | 38     | 35     | 0.12     | 0.04   | 0.13   |
| 12              | 65         | 36               | 37     | 37     | 37.5   | 0.04     | 0.04   | 0.12   |
| 34              | 65         | 37.5             | 37     | 34     | 37     | 0.14     | 0.13   | 0.09   |
| 49              | 30         | 36               | 37     | 36     | 36     | 0.20     | 0.24   | 0.07   |
| 63              | 45         | 36               | 35     | 35     | 34     | 0.22     | 0.14   | 0.21   |
| 64              | 25         | 35               | 35     | 36     | 34     | 0.16     | 0.14   | 0.06   |
| 77              | 25         | 35               | 37     | 35     | 36     | 0.20     | 0.17   | 0.11   |
| 113             | 15         | 42               | 35     | —      | 34     | 0.21     | —      | 0.16   |
| 130             | 15         | 45               | 33     | —      | 35     | 0.07     | —      | 0.24   |
| 1954            |            |                  |        |        |        |          |        |        |
| 7               | 29         | 37.5             | 37.5   | 34.5   | 37     | 0.13     | 0.09   | 0.46   |

du fait de leur caractère neutre, ils sont quelque peu sous-évalués par rapport aux beurres aromatiques : en fin de conservation, comme ils n'ont pas subi la moindre altération, phénomène assez rare dans les beurres de longue conservation, ils émergent vraiment de la masse et les experts ont une tendance naturelle à relever les cotations.

Les indices de peroxyde en fin de conservation sont généralement très bas, ce qui dénote l'absence complète d'altération, du moins d'oxydation.

Il est à noter que les beurres doux sont cependant très altérables du point de vue microbiologique et qu'il importerait d'apporter de grands soins d'asepsie en cours de fabrication. Sinon, cette vulnérabilité aux altérations microbiologiques pourrait provoquer des mécomptes pendant la période de mise en consommation.

Une autre grosse difficulté que l'on peut rencontrer dans la préparation de ces beurres réside dans les pertes de matière grasse au barattage.

Nous avons observé qu'on pouvait, dans une large mesure, obvier à cet inconvénient, en tenant les crèmes au froid (6-7 °C) pendant toute la nuit, en barattant à basse température (8 à 9 °C) et en terminant le barattage à vitesse réduite.

En appliquant ces principes, nous avons pu abaisser la teneur en matière grasse du babeurre à 0.5 % ce qui peut abaisser le pourcentage des pertes de matière grasse au barattage à 1.30 ou 1.40 (rapport de la quantité de matière grasse dans le babeurre à la quantité de matière grasse mise en œuvre). Ce pourcentage moyen de pertes en matière grasse dans nos essais s'éleva en 1953 à 1.77 % et en 1954 à 1.43 %.

### Beurres faits de crèmes fermentées, neutralisées avant barattage

L'idée de tenter la fabrication de tels beurres est venue du désir de réaliser la fabrication d'un beurre présentant un certain arôme, ce qui présuppose fermentation, donc acidification, et qui, néanmoins, aurait dans sa phase aqueuse un pH se rapprochant du pH des beurres doux, et présenterait ainsi les caractères de ces derniers.

Du point de vue critères de conservation et même cotations du goût, les résultats sont, en général, très favorables, comme on peut en juger d'après le tableau XIII.

Nous avons, en même temps, indiqué dans ce tableau le pH atteint dans le beurre et la teneur en cuivre de celui-ci. Ce dernier critère a une grosse importance pour juger de l'influence du pH sur l'allure de la conservation. Avec des beurres à faible teneur en cuivre (c'est le cas du 145 de 1952), on peut arriver à des résultats de conservation très favorables à un pH relativement bas (5.1). Ce ne serait

TABLEAU XIII  
*Beurres neutralisés avant barattage*  
 (CONSERVATION A — 10 °C)

| N°   | pH   | Cu<br>γ/Kg | Expertise (goût) |        |        |        | Peroxyde |        |        |
|------|------|------------|------------------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|
|      |      |            | frais            | 2 mois | 4 mois | 6 mois | 2 mois   | 4 mois | 6 mois |
| 1951 |      |            |                  |        |        |        |          |        |        |
| 4    | 5.9  | 71         | 37.5             | 37.5   | 38     | 37.5   | 0.31     | 0.50   | 0.32   |
| 35   | 5.1  | 455        | 42.5             | 30     | 32.5   | 35     | —        | 1.83   | 1.70   |
| 64   | 5.1  | 50         | 32.5             | 34     | 32     | 30     | 1.55     | 1.69   | 2.17   |
| 96   | 5.2  | 30         | 32.5             | 28     | 28     | 27     | 0.7      | 1.1    | 1.4    |
| 1952 |      |            |                  |        |        |        |          |        |        |
| 38   | 5.25 | 55         | 37.5             | 36     | 35     | 34     | 0.17     | 0.13   | 0.33   |
| 54   | 6.7  | 50         | 35               | 37.5   | 32.5   | 31     | 0.10     | 0.34   | 1.17   |
| 71   | 6.7  | 65         | 32.5             | 30     | 35     | 36     | 0.10     | 0.07   | 0.12   |
| 73   | 6.2  | 40         | 35               | 33.5   | 36     | 36     | 0.13     | 0.13   | 0.12   |
| 98   | 6.4  | 40         | 32               | 30     | 34     | 37     | 0.25     | 0.13   | 0.24   |
| 140  | 6.4  | 84         | 35               | 35     | 36     | 35     | 0.15     | 0.21   | 0.09   |
| 154  | 5.9  | 230        | 32               | 32     | 35     | 32     | 0.23     | 0.39   | 0.7    |
| 160  | 5.3  | 66         | 35               | 37     | 36     | 35     | 0.03     | 0.06   | 0.25   |
| 145  | 5.1  | 25         | 39               | 37     | 37     | —      | 0.14     | 0.16   | —      |

sans doute pas le cas avec un beurre à teneur élevée en cuivre comme le n° 154, où, même au pH 5.9, nous avons une oxydation déjà sérieuse en fin de conservation (peroxyde 0,7).

Théoriquement, il y aurait intérêt à pousser la neutralisation jusqu'à un pH entre 6.5 et 7.0. A ce pH, la conservation serait peut-être meilleure, mais on se heurterait au danger de produire un beurre ayant un léger goût de neutralisant (cas du 54 de 1952 - pH 6,7), et, d'autre part, on s'exposerait à des pertes de plus en plus sérieuses de matière grasse au barattage.

Comme le praticien n'a souvent que des données assez vagues sur la teneur en cuivre qui se rencontre dans son beurre, il semble donc que l'on puisse conseiller comme terme de neutralisation un pH voisin de 6,0 dans la crème, ce qui donnera un pH de cet ordre dans le beurre (celui-ci sera généralement, un peu inférieur).

Pour ce qui est de l'agent neutralisant, il ne semble pas qu'il s'exerce une action nettement spécifique de ce côté, mais la chose essentielle est le pH atteint dans le beurre.

Pour gouverner, la neutralisation a été faite généralement au carbonate sodique sauf dans le cas des n° 73, 98, 154, 160 de 1952, où on a employé la soude caustique et du n° 145 où on a employé le bicarbonate de soude. Dans le n° 140, on a employé en même temps un peu de phosphate trisodique (0.5 %).

Pour des raisons d'ordre technique, nos préférences iraient plutôt à la neutralisation à la soude caustique.

La neutralisation au bicarbonate sodique ne peut être envisagée économiquement, et la neutralisation au carbonate sodique est plus aléatoire du fait de la dissolution dans la masse de  $\text{CO}_2$  libéré, ce qui amène une variation sensible du pH en cours de barattage et permet beaucoup plus difficilement d'ajuster quelque peu le pH du beurre.

La neutralisation à la soude caustique nécessite certaines précautions, mais elle présente le gros avantage de permettre d'ajuster le pH avec beaucoup plus d'aisance et de précision.

En ajustant la crème à une acidité de 18 à 20° Dornic on arrive dans une zone de pH permettant une bonne conservation dans la grosse majorité des cas.

#### **Beurres neutralisés au malaxage**

Pour obvier aux gros inconvénients que présente pour la pratique, la technique de neutralisation des crèmes après fermentation, nous avons tenté de neutraliser directement le beurre en cours de malaxage.

Cette neutralisation est, à première vue, moins parfaite et moins intime qu'une neutralisation des crèmes, mais elle permet de supprimer les inconvénients inhérents à celle-ci : emploi d'une forte quantité de neutralisant — nécessité d'un ajustement assez précis du degré de neutralisation — pertes élevées de matières grasses lors du barattage. Pour réduire ces dernières, on pourrait envisager de laisser séjourner les crèmes au froid pendant plusieurs heures. Pratiquement la chose est difficile à réaliser, l'acidification s'opérant à nouveau, même à basse température.

La neutralisation au malaxage s'est effectuée par incorporation en cours de malaxage, d'une faible quantité de neutralisant, généralement le bicarbonate de soude, à raison de 0.5 à 1 gr par kg de beurre. Il est à remarquer que cette neutralisation, comme celle des crèmes également, d'ailleurs, ne sont pas autorisées par la réglementation. Nous en rapportons les résultats, surtout pour permettre de juger de l'influence du pH sur la conservation.

Le travail s'effectuait généralement comme suit : après malaxage de 3 ou 4 minutes à vanne ouverte, la vanne était fermée et le beurre était saupoudré, souvent en 2 fois (avec malaxage intermédiaire d'une minute), de la quantité voulue de bicarbonate et le malaxage était poursuivi alors le plus longtemps possible, sans excès toutefois.

La neutralisation s'est opérée le plus généralement par saupoudrage à sec. A condition de pouvoir pratiquer ce saupoudrage de façon assez régulière, la technique est plus aisée que la neutralisation par voie humide soit à l'aide d'une solution de neutralisant, qu'il est difficile d'incorporer intégralement dans la masse.

*Beurres neutralisés au malaxage*

| N°                    | Mode neutralisation                    | Quantité                    | Poids beurre | % neutralisant | pH final | pH initial |
|-----------------------|----------------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------|----------|------------|
| 1952                  |                                        |                             |              |                |          |            |
| 96                    | NaHCO <sup>3</sup> - sec               | 5,2 gr                      | 14 kg        | 0,37           | 5,25     | 4,6        |
| 139                   | » »                                    | 15 gr                       | 32 kg        | 0,47           | 5,4      | 4,6        |
| 153                   | » »                                    | 15 gr                       | 31 kg        | 0,48           | 5,9      | 4,6        |
| 159                   | » »                                    | 15 gr                       | 34,7 kg      | 0,43           | 5,4      | 4,5        |
| 1953                  |                                        |                             |              |                |          |            |
| 10                    | NaHCO <sup>3</sup> - humide            | 10 gr                       | 20,5 kg      | 0,48           | 5,2      | 4,8        |
| 18                    | NaHCO <sup>3</sup> - sec               | 12 gr                       | 25,1 kg      | 0,48           | 6,2      | 4,5        |
| 19                    | Na <sub>2</sub> HPO <sup>4</sup> - sec | 18 gr                       | 33,2 kg      |                | 5,4      | 4,5        |
|                       | NaHCO <sup>3</sup> - sec               | 9 gr                        |              |                |          |            |
| 36                    | » »                                    | 15 gr                       | 34,5 kg      | 0,434          | 5,7      | 4,8        |
| 37                    | » »                                    | 14,8 gr                     | 28 kg        | 0,53           | 5,8      | 4,8        |
| 50                    | » »                                    | 12 gr                       | 24,9 kg      | 0,49           | 6,1      | 4,6        |
| 51                    | » »                                    | 24 gr                       | 29,5 kg      | 0,81           | 7,3      | 4,6        |
| 65                    | » »                                    | 20,7 gr                     | 22,5 kg      | 0,92           | 7,1      | 4,7        |
| 78                    | » »                                    | 18 gr                       | 19,4 kg      | 0,92           | 6,8      | 4,45       |
| 79                    | » »                                    | 28 gr                       | 23 kg        | 1,21           | 7,7      | 4,45       |
| 115                   | » »                                    | 9 gr                        | 18 kg        | 0,5            | 5,5      | 4,5        |
| 116                   | » »                                    | 14,5 gr                     | 18 kg        | 0,8            | 7,0      | 4,5        |
| 132                   | » »                                    | 17 gr                       | 21 kg        | 0,8            | 7,7      | 4,5        |
| 1954                  |                                        |                             |              |                |          |            |
| 34                    | » »                                    | 13 gr                       | 25 kg        | 0,52           | 5,7      | 4,3        |
| 38                    | » »                                    | 7,5 gr                      | 23,7 kg      | 0,31           | 4,9      | 4,5        |
| 41                    | NaHCO <sup>3</sup> - humide            | 300 gr                      | 350 kg       | 0,85           | 5,75     |            |
| 44                    | NaHCO <sup>3</sup> - sec               | 8 gr                        | 28,5 kg      | 0,28           |          |            |
| 75                    | » »                                    | 7,5 gr                      | 22 kg        | 0,34           | 4,9      | 4,5        |
| 86                    | » »                                    | 7,5 gr                      | 21,5 kg      | 0,34           | 5,0      | 4,3        |
| 96                    | » »                                    | 3 gr                        | 25 kg        | 0,12           | 5,0      | 4,4        |
| TABLEAU RECAPITULATIF |                                        |                             |              |                |          |            |
| % NaHCO <sup>3</sup>  |                                        | pH obtenus                  |              | pH moyen       |          |            |
| 0,3 à 0,35 %          |                                        | 4,9 - 4,9 - 5,0             |              | 4,9 à 5,0      |          |            |
| 0,35 à 0,45 %         |                                        | 5,25 - 5,4 - 5,7            |              | 5,45           |          |            |
| 0,45 à 0,55 %         |                                        | 5,4 - 5,9 - 5,2 - 6,2 - 5,8 |              |                |          |            |
| 0,8 %                 |                                        | 6,1 - 5,5 - 5,7             |              | 5,75           |          |            |
| 0,9 %                 |                                        | 7,3 - 7,0 - 7,7             |              | 7,3            |          |            |
| 1,2 %                 |                                        | 7,1 - 6,8                   |              | 6,95           |          |            |
|                       |                                        | 7,7                         |              | 7,7            |          |            |

La nature et les doses de neutralisant employées et le pH enregistré dans le beurre sont consignés dans le tableau précédent.

De façon générale, on peut dire que, pour atteindre un pH supérieur à 6,0, il faut envisager une dose de bicarbonate de soude d'environ 0,6 à 0,7 gr par kg de beurre.

**Valeur du beurre neutralisé à l'état frais,  
et son aptitude à la conservation**

Le tableau XIV permet de se faire une opinion sur les qualités organoleptiques du beurre neutralisé. De façon générale, le beurre neutralisé au malaxage supportait à l'état frais la comparaison avec le beurre de crème acide (Moyenne des cotations des essais comparatifs de 1953 — Beurre de crèmes acides : 34,2 — Beurre de crèmes neutralisées : 34,9). Généralement, on ne retrouvait pas nettement, de façon définie, le goût de neutralisant, surtout lorsque la neutralisation n'était pas trop poussée.

TABLEAU XIV  
*Beurres neutralisés au malaxage*  
(CONSERVATION A — 10 °C)

| N°   | pH   | Cu<br>γ/kg | EXPERTISE (goût) |        |        |        | PEROXYDE |        |        |
|------|------|------------|------------------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|
|      |      |            | frais            | 2 mois | 4 mois | 6 mois | 2 mois   | 4 mois | 6 mois |
| 1952 |      |            |                  |        |        |        |          |        |        |
| 96   | 5.25 | 119        | 31.5             | 27     | 33     | 35     | 0.1      | 0.4    | 1.1    |
| 139  | 5.40 | 48         | 38               | 36     | 37     | 35     | 0.2      | 0.4    | 0.4    |
| 153  | 5.9  | 313        | 36               | 35     | 32.5   | 36     | 0.3      | 0.8    | 1.4    |
| 159  | 5.4  | 58         | 35               | 36     | 35     | 36     | 0.1      | 0.1    | 0.5    |
| 1953 |      |            |                  |        |        |        |          |        |        |
| 10   | 5.2  | 25         | 32               | 31     | 35     | 36     | 0.13     | 0.07   | 0.12   |
| 15   | 6.8  | 65         | 36               | 35     | 35     | 36     | 0.03     | —      | 0.10   |
| 18   | 6.2  | 45         | 34               | 35     | 35     | 35     | 0.09     | 0.15   | 0.09   |
| 19   | 5.4  | 40         | 30               | 33     | 33     | 34     | 0.11     | 0.21   | 0.09   |
| 36   | 5.7  | 60         | 34               | 33.5   | 33     | 33     | 0.21     | 0.11   | 0.21   |
| 37   | 5.8  | 70         | 35               | 34     | 31     | 34     | 0.18     | 0.09   | 0.23   |
| 50   | 6.1  | 40         | 37.5             | 37     | 38     | 39     | 0.16     | 0.14   | 0.07   |
| 51   | 7.3  | 40         | 40               | 37     | 36     | 38     | 0.13     | 0.05   | 0.07   |
| 65   | 7.1  | 15         | 32.5             | 35     | 34     | 35     | 0.14     | 0.14   | 0.06   |
| 78   | 6.8  | 45         | 32               | 37     | 34     | 35     | —        | 0.17   | 0.11   |
| 79   | 7.7  | 40         | 32               | 38     | 34     | 35     | 0.14     | 0.15   | 0.14   |
| 115  | 5.5  | 55         | 38               | 37     | —      | 34     | 0.20     | —      | 0.15   |
| 116  | 7.45 | 15         | 35.5             | 35     | —      | 34     | 0.16     | —      | 0.21   |
| 132  | 7.7  | 30         | 35               | 36     | —      | 34.5   | 0.09     | —      | 0.13   |

Pour ce qui est de l'aptitude à la conservation, ces beurres se sont en général bien conservés, quelle que soit leur teneur en cuivre. Deux beurres avec des teneurs en cuivre excessivement élevées avaient tendance à se dégrader, ce qui montre que le pH devrait être en corrélation avec la teneur en cuivre (dans un cas, il n'était que 5,25 pour une teneur en cuivre de 119  $\gamma$  par kg).

### Beurres lavés à l'eau alcalinisée

Il s'agit d'une technique assez sommaire qui, théoriquement, ne devrait pas donner des résultats bien plausibles puisque la partie du babeurre englobée dans les grains de matière grasse à la fin du barattage, n'est guère atteinte, ou n'est atteinte qu'au bout d'un temps assez long, et qui, néanmoins, peut donner des résultats dans certains cas comme le prouveront clairement les tableaux comparatifs que nous dresserons ci-après.

TABLEAU XV

### Beurres lavés à l'eau alcalinisée

(CONSERVATION A — 10 °C)

| N°   | pH   | Cu  | EXPERTISE (goût) |        |        |        | PEROXYDE |        |        |
|------|------|-----|------------------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|
|      |      |     | frais            | 2 mois | 4 mois | 6 mois | 2 mois   | 4 mois | 6 mois |
| 1951 |      |     |                  |        |        |        |          |        |        |
| 8    | 4.7  | 63  | 45               | 37.5   | 36     | 38.5   | 0.35     | 0.26   | 0.34   |
| 28   | 7.8  | 51  | 35               | 32.5   | 35     | 37     | 0.41     |        | 0.35   |
| 42   | 5.55 | 89  | 37.5             | 35     | 37.5   | 28 *   |          | 0.37   | 1.39   |
| 55   | 5.9  | 222 | 35               | 36     | 34     | 33     | 0.34     | 0.75   | 0.82   |
| 70   | 5.4  | 143 | 37.5             | 39     | 35     | 32     | 0.63     | 0.22   | 0.69   |
| 85   | 5.35 | 300 | 37.5             | 34     | 32.5   | 25 *   | 0.29     | 0.55   | 1.68   |
| 101  | 5.45 | 60  | 32               | 29     | 27     | 25     | 0.26     | 0.24   | 0.82   |
| 1952 |      |     |                  |        |        |        |          |        |        |
| 53   | 4.9  | 180 | 37.5             | 35     | 25 *   | 15 *   | 0.19     | 2.51   | 3.69   |
| 24   | 5.2  | 135 | 38               | 33     | 30     | 25 *   | 0.30     | 0.43   | 1.02   |
| 130  | 4.45 | 14  | 36               | 37     | 38     | 35     | 0.09     | 0.18   | 0.26   |
| 144  | 5.2  | 50  | 38               | 36     | 35     |        | 0.26     | 0.41   |        |
| 31   | 4.5  | 30  | 38               | 36     | 35     | 27 *   | 0.20     | 0.56   | 0.81   |
| 32   | 5.1  | 240 | 37.5             | 35     | 31     | 25 *   | 0.23     | 0.81   | 1.07   |
| 23   | 5.05 | 120 | 36               | 32     | 33     | 33     | 0.22     | 0.18   | 0.38   |
| 37   | 4.65 | 85  | 40               | 37.5   | 33     | 23 *   | 0.22     | 0.75   | 1.66   |

\* = goût de poisson.

TABLEAU XVI  
Apparition du goût de poisson (+)

| N <sup>os</sup> | BEURRES DOUX |        |        | N <sup>os</sup> | BEURRES TEMOINS |        |        |
|-----------------|--------------|--------|--------|-----------------|-----------------|--------|--------|
|                 | 2 mois       | 4 mois | 6 mois |                 | 2 mois          | 4 mois | 6 mois |
| 1951            |              |        |        |                 |                 |        |        |
| 2               | —            | —      | —      | 3               | —               | +      | +      |
| 6               | —            | —      | —      | 7               | —               | —      | —      |
| 26              | —            | —      | —      | 27              | —               | +      | +      |
| 32              | —            | —      | —      | 33              | —               | +      | +      |
| 39              | —            | —      | —      | 41              | +               | +      | +      |
| 53              | —            | —      | —      | 54              | —               | +      | +      |
| 65              | —            | —      | —      | 63              | +               | +      | +      |
| 67              | —            | —      | —      | 69              | —               | —      | —      |
| 83              | —            | —      | —      | 84              | —               | —      | +      |
| 99              | —            | —      | —      | 100             | +               | +      | +      |
| 1952            |              |        |        |                 |                 |        |        |
| 21              | —            | —      | —      | 22              | —               | —      | —      |
| 29              | —            | —      | —      | 30              | —               | —      | —      |
| 35              | —            | —      | —      | 36              | —               | —      | +      |
| 51              | —            | —      | —      | 52              | —               | +      | +      |
| 60              | —            | —      | —      | 61              | —               | +      | +      |
| 70              | —            | —      | —      | 72              | —               | —      | +      |
| 95              | —            | —      | —      | 97              | —               | +      | +      |
| 137             | —            | —      | —      | 138             | —               | —      | —      |
| 150             | —            | —      | —      | 152             | —               | +      | +      |
| 157             | —            | —      | —      | 158             | —               | —      | +      |
| 178             | —            | —      | —      | 179             | —               | —      | —      |
| 1953            |              |        |        |                 |                 |        |        |
| 8               | —            | —      | —      | 7               | —               | —      | —      |
| 12              | —            | —      | —      | 14              | —               | —      | —      |
| 34              | —            | —      | —      | 35              | —               | —      | —      |
| 49              | —            | —      | —      | 52              | —               | —      | —      |
| 63              | —            | —      | —      | 66              | —               | +      | +      |
| 77              | —            | —      | —      | 80              | —               | +      | +      |
| 113             | —            | —      | —      | 114             | —               | —      | +      |
| 130             | —            | —      | —      | 131             | —               | —      | —      |
|                 | 0 %          | 0 %    | 0 %    |                 | 10.3 %          | 44.8 % | 62 %   |

L'alcalinisation à l'eau de chaux s'opère tout simplement en ajoutant à l'eau de lavage, de l'eau de chaux jusqu'à obtention d'un virage à la phénolphthaléine. Laisser reposer alors l'eau pendant quelque temps.

Le bicarbonate, lui, a été employé à des doses quelque peu variables qui devraient théoriquement, compenser dans une certaine mesure l'acidité de la phase aqueuse.

A première vue, cette technique paraît beaucoup plus aléatoire. Le goût de poisson apparaît en fin de conservation dans plusieurs cas

TABLEAU XVII  
Apparition du goût de poisson (+)

| Beurres neutralisés avant barattage |        |        |        | Beurres témoins |        |        |        |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|-----------------|--------|--------|--------|
| N <sup>os</sup>                     | 2 mois | 4 mois | 6 mois | N <sup>os</sup> | 2 mois | 4 mois | 6 mois |
| 1951                                |        |        |        |                 |        |        |        |
| 4                                   | —      | —      | —      | 3               | —      | +      | +      |
| 35                                  | —      | —      | —      | 34              | +      | +      | +      |
| 64                                  | —      | —      | —      | 63              | +      | +      | +      |
| 96                                  | —      | —      | —      | 95              | —      | —      | —      |
| 1952                                |        |        |        |                 |        |        |        |
| 38                                  | —      | —      | —      | 36              | —      | —      | +      |
| 54                                  | —      | —      | —      | 52              | —      | +      | +      |
| 71                                  | —      | —      | —      | 72              | —      | —      | +      |
| 73                                  | —      | —      | —      |                 |        |        |        |
| 98                                  | —      | —      | —      | 97              | —      | +      | +      |
| 140                                 | —      | —      | —      | 138             | —      | —      | —      |
| 154                                 | —      | —      | —      | 152             | —      | +      | +      |
| 160                                 | —      | —      | —      | 158             | —      | —      | +      |
|                                     | 0 %    | 0 %    | 0 %    |                 | 18.2 % | 54.5 % | 81.8   |
| Beurres neutralisés au malaxage     |        |        |        | Beurres témoins |        |        |        |
| 1952                                |        |        |        |                 |        |        |        |
| 96                                  | —      | —      | —      | 97              | —      | +      | +      |
| 139                                 | —      | —      | —      | 138             | —      | —      | —      |
| 153                                 | —      | —      | —      | 152             | —      | +      | +      |
| 159                                 | —      | —      | —      | 158             | —      | —      | +      |
| 1953                                |        |        |        |                 |        |        |        |
| 10                                  | —      | —      | —      | 7               | —      | —      | —      |
| 15                                  | —      | —      | —      | 14              | —      | —      | —      |
| 18                                  | —      | —      | —      | 17              | —      | —      | —      |
| 36                                  | —      | —      | —      | 35              | —      | —      | —      |
| 50                                  | —      | —      | —      | 52              | —      | —      | —      |
| 65                                  | —      | —      | —      | 66              | —      | +      | +      |
| 78                                  | —      | —      | —      | 80              | —      | +      | +      |
| 115                                 | —      | —      | —      | 114             | —      | —      | —      |
| 132                                 | —      | —      | —      | 131             | —      | —      | —      |
|                                     | 0      | 0      | 0      |                 | 0      | 30.7   | 46.1   |

et, dans les autres cas, il y a souvent élévation sérieuse de l'indice de peroxyde au bout de 6 mois, ce qui montre que ces beurres ne se conserveraient plus très longtemps.

D'après le tableau XV nous constatons cependant qu'il y a eu une nette différence de conservation surtout dans quatre cas : n<sup>os</sup> 28, 42,

TABLEAU XVIII  
Apparition du goût de poisson (+)

| Beurres lavés à l'eau de chaux |        |        |        | Beurres témoins |        |        |        |
|--------------------------------|--------|--------|--------|-----------------|--------|--------|--------|
| N <sup>os</sup>                | 2 mois | 4 mois | 6 mois | N <sup>os</sup> | 2 mois | 4 mois | 6 mois |
| 1951                           |        |        |        |                 |        |        |        |
| 8                              | —      | —      | —      | 7               | —      | —      | —      |
| 28                             | —      | —      | —      | 27              | —      | —      | —      |
| 42                             | —      | —      | +      | 41              | +      | +      | +      |
| 55                             | —      | —      | —      | 54              | —      | +      | +      |
| 70                             | —      | —      | —      | 69              | —      | —      | —      |
| 85                             | —      | —      | +      | 84              | —      | —      | +      |
| 101                            | —      | —      | —      | 100             | +      | +      | +      |
| 1952                           |        |        |        |                 |        |        |        |
| 53                             | —      | +      | +      | 52              | —      | +      | +      |
| 24                             | —      | —      | +      | 22              | —      | —      | —      |
| 180                            | —      | —      | —      | 179             | —      | —      | —      |
|                                | 0 %    | 10 %   | 40 %   |                 | 20 %   | 50 %   | 60 %   |
| Beurres lavés à l'eau bicarb.  |        |        |        | Beurres témoins |        |        |        |
| 1952                           |        |        |        |                 |        |        |        |
| 31                             | —      | —      | +      | 30              | —      | —      | —      |
| 23                             | —      | —      | —      | 22              | —      | —      | —      |
| 37                             | —      | —      | +      | 36              | —      | —      | +      |
|                                | 0 %    | 0 %    | 66 %   |                 | 0 %    | 0 %    | 33 %   |

55 et 101 de 1951. Nous notons que, précisément, ce sont les cas où nous avons relevé plus sensiblement le pH et dans le cas du n° 55 notamment, vu la haute teneur en cuivre, les résultats de conservation ont été un succès.

Aux pH voisins de 5,0 ou inférieurs à 5,0, par contre, ce lavage est inutile, ou n'est guère opérant : ce fut le cas des beurres de 1952 notamment.

L'élévation sérieuse du pH par cette méthode requiert l'emploi d'eau fortement alcalinisée : c'est pourquoi, dans le cas des beurres s'altérant rapidement, surtout en raison de leur teneur élevée en cuivre, elle n'est guère opérante.

Dans le cas des beurres à faible teneur en cuivre et qui auraient tendance à s'altérer lentement (goût de poisson en 5-6 mois) elle pour-

rait être d'appoint. Pour ce qui est de l'emploi d'un alcalinisant sodique (bicarbonate sodique), les résultats furent très décevants : l'eau paraît dans ce cas présenter un pouvoir-tampon de neutralisation sensiblement moindre et cette technique ne présente aucune utilité.

TABLEAU XIX  
% d'apparitions du goût de poisson

|                                      | 2 mois | 4 mois | 6 mois |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| Beurres doux . . . . .               | 0      | 0      | 0      |
| Beurres témoins . . . . .            | 10.3   | 44.8   | 62.0   |
| Beurres neutralisés avant barattage  | 0      | 0      | 0      |
| Beurres témoins . . . . .            | 18.2   | 54.5   | 81.8   |
| Beurres neutralisés au malaxage .    | 0      | 0      | 0      |
| Beurres témoins . . . . .            | 0      | 30.7   | 46.1   |
| Beurres lavés à l'eau de chaux .     | 0      | 10     | 40     |
| Beurres témoins . . . . .            | 20     | 50     | 60     |
| Beurres lavés à l'eau bicarbonatée . | 0      | 0      | 66     |
| Beurres témoins . . . . .            | 0      | 0      | 33     |

**Coup d'œil comparatif sur la valeur respective des diverses techniques  
pour améliorer l'aptitude à la conservation**

Dans les tableaux XVI à XVIII, nous avons fait un relevé comparatif des cas de goût de poisson enregistrés aux divers stades de la conservation, respectivement, dans les beurres doux, les beurres neutralisés avant barattage, les beurres neutralisés au malaxage et les beurres lavés à l'eau alcalinisée, en mettant chaque fois en regard *les beurres-témoins c'est-à-dire préparés avec fermentation habituelle dans le même matériel de la Station Laitière.*

Nous synthétisons cette comparaison dans le tableau récapitulatif XIX, qui résume objectivement nos constatations sur la valeur respective des diverses techniques.

**IV. — Influence de la matière première**

Nous avons dès l'abord (1) et à maintes reprises dans la suite, souligné l'influence sur la conservation de la nature de la matière première : crèmes fraîches ou crèmes ayant séjourné plusieurs jours à la ferme et que nous dénommons habituellement « vieilles crèmes » (5-7-8-9).

Nous avons d'ailleurs précédemment dans cette étude même, relevé de façon statistique le comportement différent des beurres de crèmes fraîches et des beurres de vieilles crèmes quant aux relations entre la teneur en cuivre et l'apparition du goût de poisson (voir tableaux I et II). Dans le cas des beurres de vieilles crèmes, apparemment, la limite de la teneur en cuivre pourrait être quelque peu plus élevée en ce qui concerne l'apparition du goût de poisson. Toutefois, les oxydations qui s'accusent sans apparition du goût de poisson se soldent quand même par une dépréciation assez nette du goût ou des qualités organoleptiques.

D'autre part, la teneur minimum en sulfhydriles nécessaire pour paralyser les phénomènes d'oxydation, devrait être telle qu'elle donne au test du nitoprussiate, un résultat de 1,5 au moins, soit une exigence un peu plus élevée que pour les beurres de crèmes fraîches, ce qui est bien dans les caractéristiques de beurres qui montrent une propension assez élevée à l'oxydation malgré la résistance à l'apparition des défauts de goût qui s'ensuivent.

Le critère touchant le degré d'acidité des crèmes que nous avons ajouté aux précédents comme une garantie supplémentaire de bonne conservation, est également d'application dans le cas des vieilles crèmes.

Malheureusement, si ces critères sont nécessaires, ils ne paraissent pas suffisants. A en juger par l'évolution du seul test du peroxyde, on pourrait croire que, tout comme pour les beurres de crèmes fraîches, la montée de l'indice de peroxyde étant enrayée, la conservation doit être parfaite. Il n'en est malheureusement rien et, à l'expertise organoleptique, ces beurres, qui n'accusent plus de changement marqué à l'indice de peroxyde, trahissent des altérations de goût assez nettes et parfois désagréables.

Pour mieux illustrer ce comportement tout à fait typique des beurres de vieilles crèmes à la conservation, nous avons dressé ci-après le tableau XX reprenant les cas de conservation à  $-10^{\circ}\text{C}$  d'un certain nombre de beurres de vieilles crèmes que nous avons pu suivre en ces derniers temps. Ces beurres sont groupés par catégories d'après les résultats accusés au test du nitoprussiate. Il s'agit pour la plupart, de beurres à teneurs en cuivre inférieures à  $50\gamma/\text{kg}$ .

Les chiffres d'évolution de l'indice de peroxyde accusent une très forte oxydation pour les beurres de la première catégorie à indice 0 de sulfhydrile, oxydation qui se manifeste plus tardivement au fur et à mesure que le chauffage a été plus sévère. Dans la catégorie 1 des résultats du test au nitoprussiate, la plupart des beurres accusent encore une oxydation marquée, à la différence de ce qui se passe dans les beurres de crèmes fraîches.

Ce n'est qu'à partir de 1,5 que la tendance à l'oxydation s'émousse.

Nous constatons pourtant qu'avec des indices de peroxyde de 0.15 à 0.30 même, des phénomènes d'altération se marquent au goût sous

TABLEAU XX

| Année<br>N°           | Cui-<br>vre<br>γ kg  | Test<br>nitro-<br>prus-<br>sate | pH                          | Dia-<br>cé-<br>type        | EXPERTISE                       |                                                    |                                                                  |                                                   | Peroxyde après 8 j. à 13°    |                           |                              |
|-----------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                       |                      |                                 |                             |                            | Prais                           | 2 mois                                             | 4 mois                                                           | 6 mois                                            | 2 mois                       | 4 mois                    | 6 mois                       |
|                       |                      |                                 |                             |                            |                                 |                                                    |                                                                  |                                                   |                              |                           |                              |
| 54 - 21<br>51         | 40<br>25             | 0<br>0                          | 4.8<br>4.7                  | 0.83<br>0.82               | 30 caséeux<br>35 —              | 28 gras,<br>30 vieille<br>crème                    | 20 poisson<br>30 vieill. crème                                   | retiré<br>oxydé                                   | 2.02<br>0.65                 | 1.53<br>1.73              | 3.48<br>2.06                 |
| 61                    | 30                   | 0                               | 4.9                         | traces                     | 25 métal                        | 22.5 métal,<br>oxydé                               | 20 pourri                                                        | 25 vieille<br>crème très<br>oxydé                 | 0.26                         | 0.63                      | 1.39                         |
| 66<br>76              | 40<br>20             | 0<br>0                          | 4.8<br>4.6                  | 0.75<br>traces             | 30 caséeux<br>31 —              | 20 poisson<br>25 vieille<br>crème from.            | 20 déclassé<br>26 vieill. crème                                  | 20 déclassé<br>24 gâté                            | 1.75<br>0.70                 | 4.1<br>1.36               | 4.79<br>2.99                 |
| 55 - 58<br>109<br>113 | 20<br>70<br>45<br>25 | 0-0.5<br>0.5<br>0.5<br>0.5      | 4.55<br>4.4<br>4.55<br>4.45 | 1.15<br>néant<br>»<br>2.05 | 35 gras,<br>28 vieille<br>crème | 32.5 acide<br>poisson<br>25<br>33 vieille<br>crème | 27 très gras,<br>25 très oxydé<br>..... oxydé<br>déclassé - gâté | poisson<br>retiré<br>oxydé<br>retiré              | 2.11<br>2.09<br>0.34<br>0.44 | —<br>3.88<br>1.07<br>1.71 | 3.83<br>4.16<br>2.16<br>1.85 |
| 54 - 80<br>83         | 65<br>20             | 0-1<br>0-1                      | 5.8<br>4.8                  | traces                     | 33.5 vieille<br>crème           | 25 oxydé<br>vieil. crème<br>30 fromage             | 20 vieill. crème<br>31 passé - un<br>peu grasseux                | 20 vieille<br>crème gâté<br>27.5 vieille<br>crème | 0.81<br>0.69                 | 1.01<br>1.01              | 2.31<br>2.75                 |
| 54 - 22<br>52         | 70<br>25             | 1<br>1                          | 4.6<br>4.7                  | 6.79<br>1.0                | 30 vieille<br>crème<br>oxydé    | 25 gras,<br>34                                     | 22.5 grasseux                                                    | retiré                                            | 0.82                         | 0.72                      | 2.39                         |
| 56<br>65              | 145<br>30            | 1<br>1                          | 4.7<br>4.6                  | 0.87<br>0                  | 35 vieille<br>crème métal       | 20 poisson<br>27.5 gras,<br>31 vieille<br>crème    | 25 poisson<br>30 grasseux                                        | 33 vieille<br>crème<br>retiré<br>oxydé            | 0.20<br>0.63<br>0.48         | 0.30<br>2.10<br>1.09      | 0.40<br>2.78<br>1.93         |
| 79                    | 25                   | 1                               | 4.9                         | traces                     | 32                              | 31 vieille<br>crème<br>grasseux                    | 26 vieill. crème<br>gâté                                         | 25 gâté                                           | 0.68                         | 1.00                      | 2.49                         |

|         |     |     |     |      |        |      |                             |    |          |                                   |                                    |      |      |      |
|---------|-----|-----|-----|------|--------|------|-----------------------------|----|----------|-----------------------------------|------------------------------------|------|------|------|
| —       | 82  | 20  | 1   | 4.3  | —      | 30   | légér.<br>gras.<br>34 plat. | 32 | 29       | oxydé                             | 27                                 | 0.80 | 1.15 | 2.60 |
| —       | 87  | 175 | 1   | 4.5  | traces | 34   | grais.<br>lég. poisson      | 28 | 20       | poisson                           | 20                                 | 0.33 | 1.37 | 3.65 |
| 55 - 57 | —   | 40  | 1   | 4.65 | 0.57   | 30   | déclassé<br>vieil. crème    | 25 | 25       | vieil. crème<br>oxydé             | oxydé<br>gras.<br>déclassé<br>gâté | 0.64 | —    | 1.37 |
| —       | 78  | 15  | 1   | 4.65 | traces | 27.5 | grais.<br>crème             | 28 | 28       | oxydé                             | oxydé                              | 0.20 | 0.16 | 0.94 |
| —       | 94  | 65  | 1   | 4.8  | »      | 28   | vieille<br>crème            | 30 | 25       | vieil. crème                      | 25                                 | 0.93 | 2.16 | 2.41 |
| —       | 125 | 20  | 1   | 4.55 | 0.67   | 35   | Idem                        | 33 | 25       | gâté                              | déclassé<br>gâté                   | 1.03 | 2.35 | 2.85 |
| —       | 16  | 35  | 1   | 4.4  | 0.90   | 32.5 | 33                          | 33 | 35       | 30                                | gâté                               | 0.20 | 0.72 | 6.88 |
| 55 - 51 | —   | 35  | 1.5 | 4.8  | 0.60   | 35   | 30                          | 30 | 30       | goût beurre<br>de ferme           | 30                                 | 0.14 | 0.23 | 0.18 |
| —       | 52  | 50  | 1.5 | 4.8  | néant  | 32.5 | 25                          | 25 | Déclassé | 31                                | goût<br>beurre<br>de ferme         | 0.16 | —    | 0.64 |
| —       | 53  | 25  | 1.5 | 4.95 | 1.70   | 37.5 | 35                          | 35 | 31       | vieil. crème                      | 33                                 | 0.16 | 0.27 | 0.32 |
| —       | 72  | 35  | 1.5 | 4.75 | 0.71   | 35   | 31                          | 31 | 33       | Idem                              | 32                                 | 0.23 | 0.14 | 0.30 |
| —       | 71  | 65  | 2   | 4.45 | 0.92   | 32.5 | 30                          | 30 | 32       | Idem                              | 32                                 | 0.25 | 0.13 | 0.15 |
| —       | 73  | 20  | 2   | 4.8  | traces | 28   | 29                          | 29 | 30       | goût de<br>vache                  | 32                                 | 0.37 | 0.46 | 0.74 |
| 54 - 78 | —   | 20  | 2   | 4.9  | 0.55   | 32   | 30                          | 30 | 25       | gâté                              | 28                                 | 0.23 | 0.54 | 1.73 |
| —       | 20  | 10  | 3   | 4.6  | 0.83   | 32.5 | 32                          | 32 | 27.5     | gâté                              | 20                                 | 0.37 | 0.24 | 1.25 |
| —       | 81  | 15  | 3   | 4.5  | traces | 32.5 | 32                          | 32 | 25       | mauvais<br>ni rance<br>ni poisson | 25                                 | 0.44 | 0.18 | 0.20 |
| —       | 30  | 30  | 3 + | 4.85 | 1.38   | 37.5 | 35                          | 35 | 34       | un peu<br>gras.                   | 29                                 | 0.09 | 0.20 | 0.30 |

forme de goût de vieilles crèmes, goût oxydé, goût de décomposition, avec des diminutions nettes des cotations d'expertise.

Jusqu'ici, nous avons considéré que les altérations dues au séjour en frigo, procédaient de phénomènes d'oxydation, et que l'indice de peroxyde permettait de suivre l'évolution de l'altération et d'apprécier l'importance de celle-ci.

Cette fois, le test paraît en défaut, soit qu'il s'agisse d'un autre processus d'altération, soit qu'il s'agisse d'une forme d'oxydation que le test du peroxyde ne permet pas de déceler.

Dans le cas de vieilles crèmes, le problème est à réexaminer, et il semble qu'un ou d'autres facteurs interviennent, qui n'ont pas été examinés jusqu'ici.

## V. — Influences diverses

La composition de l'eau de lavage du beurre est souvent considérée comme devant exercer une action sur la conservation.

L'eau peut exercer une action à raison de sa teneur en fer. Le fer peut être un catalyseur de l'oxydation des phospholipides, de l'oxydation se manifestant surtout sur le produit frais.

L'eau pourrait également exercer une certaine action à raison de son pouvoir-tampon, notamment de sa teneur en carbonate et en bicarbonate calciques qui peuvent concourir à tempérer l'acidité du milieu et par là, à favoriser la conservation. C'est ainsi que les eaux très dures pourraient exercer un rôle favorable, rôle très limité cependant à notre sens.

Des essais de fabrication, à partir des mêmes crèmes, de deux beurres, pour le reste identiques, mais dont l'un était lavé avec une eau en provenance de la laiterie, et l'autre, avec de l'eau de la Station Laitière, eau particulièrement dure, confirment ce que nous disons plus haut. (Tableau XXI ci-après). Ces essais ont d'ailleurs parfois été complétés par un essai de lavage avec de l'eau portée au pH 8,9 avec de l'eau de chaux, le lavage avec cette eau alcalinisée donnant des résultats plus favorables encore.

Une autre influence qui se marque sur l'aptitude à la conservation est celle de la composition de la matière grasse, notamment de la teneur en acides gras non saturés, éléments éminemment oxydables. Parmi les plus oxydables, nous devons retenir surtout les acides diénoïques et triénoïques, et notamment les acides conjugués diènes, l'acide linoléique et l'acide linolénique.

Nous avons poursuivi sur les beurres mis en œuvre pour les essais de stockage, une petite étude des variations de teneurs de la matière grasse en ces acides insaturés à doubles liaisons multiples, dans les

TABLEAU XXI  
Influence de l'eau de lavage

| N <sup>os</sup> | Provenance crèmes (N <sup>o</sup> laiterie) | Types d'eau     | Cuivre $\gamma$ /kg | p.H. | Sulfhydryle | EXPERTISE |        |                  | Peroxyde après 8 jours de conservation à 13 °C |        |        |
|-----------------|---------------------------------------------|-----------------|---------------------|------|-------------|-----------|--------|------------------|------------------------------------------------|--------|--------|
|                 |                                             |                 |                     |      |             | 2 mois    | 4 mois | 6 mois           | 2 mois                                         | 4 mois | 6 mois |
| 14              | 49                                          | Laiterie        | 10                  | 4,4  | 3           | 36        | 36     | 30<br>lég. pois. | 0,14                                           | 0,22   | 0,67   |
| 15              | 49                                          | Gembloux        | 20                  | 4,5  | 3           | 37        | 36     | 35               | 0,13                                           | 0,20   | 0,51   |
| 16              | 49                                          | id. pH 8,9      | 40                  | 4,5  | 3           | 37        | 40     | 35               | 0,11                                           | 0,14   | 0,39   |
| 61              | 9                                           | Gembloux        | 10                  | 5    | 2           | 30        | 35     | 34               | 0,12                                           | 0,07   | 0,21   |
| 62              | 9                                           | Laiterie        | 25                  | 4,7  | 2           | 35        | 33     | 33               | 0,11                                           | 0,06   | 0,21   |
| 63              | 9                                           | Gembloux pH 9,0 | 50                  | 4,9  | 2           | 35        | 34     | 35               | 0,09                                           | 0,06   | 0,21   |
| 90              | 17                                          | Gembloux        | 50                  | 4,8  | 0-1         | 37,5      | 35     | 37               | 0,24                                           | 0,05   | 0,13   |
| 91              | 17                                          | Laiterie        | 20                  | 4,6  | 1           | 37,5      | 35     | 36               | 0,26                                           | 0,05   | 0,15   |
| 103             | 9                                           | Gembloux        | 15                  | 4,5  | 1           | 40        | 40     | 36               | 0,14                                           | 0,16   | 0,36   |
| 104             | 9<br>(Crèmes pasteurisées à 82 °C)          | Laiterie        | 15                  | 4,55 | 0-1         | 36        | 36     | 29               | 0,14                                           | 0,20   | 0,32   |

beurres de diverses régions, et, pour une même région, dans les beurres de diverses saisons.

Nous reviendrons ultérieurement sur les résultats de cette étude.

Mentionnons ici qu'à première vue les variations entre les diverses régions paraîtraient indiquer des aptitudes à la conservation propres à la région. Il n'y a pas cependant de conséquences pratiques bien graves à retenir de ce côté.

Par contre, la forte montée des teneurs en acide linoléique et peut-être en acides conjugués diènes, qui s'observe si l'on compare, d'une part, les beurres de mai-juin, et d'autre part, les beurres des mois d'août et septembre, peut expliquer les difficultés plus grandes auxquelles on se heurte pratiquement pour conduire à bonne fin la conservation des beurres d'arrière-saison, surtout dans l'une ou l'autre région.

Il y a là, certaines années du moins, un facteur expliquant de gros aléas de conservation.

VAN HAEFTEN F. E. et PETTE J. W. ont observé à cet égard une prédisposition plus grande des beurres d'été pour le goût de poisson ; néanmoins, les beurres d'hiver se montraient, d'une façon générale, plus altérables.

Ces observations concordent avec certaines observations faites par KRUISHEER C. I. et KRÖL B. M. (10).

Nous n'avons pas de données suffisantes sur cet aspect du problème.

## B. COMMENT JUGER SI UN BEURRE CONVIENT POUR LE STOCKAGE ?

L'analyse faite jusqu'ici des divers facteurs intervenant pour déterminer l'aptitude à la conservation et de la part d'influence de chacun de ces facteurs, nous permet-elle de porter dès l'abord un jugement sur les perspectives de conservation d'un beurre donné ? Nous n'avons pas à souligner l'importance de cette question (34).

Disons tout d'abord qu'il s'agit de *beurres non salés*, la conservation des beurres salés et acides étant toujours très aléatoire.

Si les beurres sont faits à partir de *crèmes fraîches*, nous pouvons dire que le beurre se conservera au moins six mois en frigo à  $-10^{\circ}\text{C}$ , s'il répond aux critères suivants :

- 1° avoir une *teneur en cuivre inférieure à 50  $\gamma$  par kg* ;
- 2° donner au *test du nitroprussiate*, un résultat correspondant au moins à 1 de l'échelle de ce test.

Pour les laiteries qui ne se sentiraient pas à l'aise pour satisfaire sans difficultés à ces deux exigences, nous conseillerions de rechercher une garantie du côté du pH de leur beurre : un beurre ayant un pH de 4.8 à 5.0, se conservera plus sûrement sans défaut qu'un beurre à pH 4.4.

Pour les beurres à teneur en cuivre nettement supérieure à 50  $\gamma$  par kg, il n'y a d'autre chance de réussite que dans l'élévation du pH nettement au-dessus de 5.0 (beurres doux, beurres peu acidifiés).

Le pH, tout en se situant entre 5 et 6, doit être d'autant plus élevé qu'il y a plus de cuivre.

Pour les beurres *faits de vieilles crèmes*, nous retiendrons que les critères prévus pour les beurres de crèmes fraîches s'avèrent *nécessaires*, à savoir :

- avoir une teneur en cuivre inférieure à 50  $\gamma$  par kg ;
- donner au test au nitroprussiate un résultat au moins égal à 1,5.

Il vaut mieux également éviter une forte acidification des crèmes de façon à obtenir un beurre dont le pH ne descende pas en dessous de 4,8 à 5,0.

*Ces critères de conservation pour les beurres de vieilles crèmes ne sont cependant pas toujours suffisants*, et d'autant moins qu'il s'agit de crèmes plus vieilles.

D'une façon générale, notons également que les crèmes ayant servi à faire le beurre doivent avoir été traitées avec ménagement.

Le temps chaud, orageux, le séjour prolongé à haute température, l'exposition à la lumière solaire, les passages multipliés dans les pompes peuvent être préjudiciables à la bonne conservation.

Ordinairement, ces influences provoquent déjà un goût anormal dans le beurre frais.

Notons à ce propos que la conservation ne va généralement pas de pair avec une amélioration.

Si le beurre frais présente des *défauts organoleptiques*, ils se retrouvent dans le beurre conservé.

*La première chose à faire est donc de faire un test organoleptique du beurre frais.* Cela n'a pas une grande importance pour la conservation proprement dite, mais bien pour juger de ce que sera la valeur organoleptique du beurre conservé.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) PIRAUX, E. et JAMOTTE, P. (1950) : Recherche sur l'aptitude des beurres belges à la conservation en frigo — *Bull. Inst. agr. et des Stat. Rech. Gembloux*, XVIII - 3-4.
- (2) Comité pour l'Etude Scientif. et Technique du Lait et de ses Dérivés - Travaux de recherches 1948-52.  
Conclusions pratiques à l'usage des laiteries.
- (3) JAMOTTE, P. et PIRAUX, E. (1952) : La conservation des beurres en frigo — *La Belgique Laitière*, n° 26 - juillet.
- (4) PIRAUX, E. et JAMOTTE, P. (1953) : Quels beurres doit-on stocker en frigo ? — *La Belgique Laitière*, n° 31 - mai.
- (5) PIRAUX, E., JAMOTTE, P., LHEUREUX, F. (1953) : L'aptitude des beurres à la conservation en frigo — *XIII<sup>me</sup> Congrès Intern. Laiterie, LA HAYE II* - p. 549.
- (6) JAMOTTE, P., LHEUREUX, F., PIRAUX, E. (1953) : Les variations de l'indice de peroxyde dans le beurre entreposé à diverses températures et le rapport de ces indices avec l'apparition du goût de poisson — *XIII<sup>me</sup> Congrès Intern. Laiterie, LA HAYE III* - p. 1079.
- (7) PIRAUX, E., JAMOTTE, P. (1953) : De opslag van boter in het koelhuis. De invloed van het Kopergehalte op de geschiktheid voor opslag — *Conserva*, n° 5 - november.
- (8) PIRAUX, E. et JAMOTTE, P. (1954) : L'entreposage des beurres en frigo. Influence de la teneur en cuivre sur l'aptitude à la conservation — *Le Lait*, XXXIV - 277 — *Le Québec Laitier*, XIII - 3 - p. 28.
- (9) PIRAUX, E., JAMOTTE, P., LHEUREUX, F., LACROSSE, R. (1954) : Evolution comparée de l'indice de peroxyde dans des beurres conservés à diverses températures. Peut-on y trouver les éléments d'un test d'aptitude à la conservation ? — *Bull. Inst. agr. et des Stat. Rech. Gembloux*, XXII - 1/2 - 76.
- (10) KRUISHEER, C.I. and KROL, B.M. (1955) : The effect of the copper content on the development of flavour defects in cold-stored butter — *Neth. Milk Dairy J.* 9 - 2/3 - 173/81.
- (11) KEESTRA, F. (1949) : Seizoeninvloed op het Kopergehalte van boter — *Coop. Zuivelfabriek* - juillet-septembre
- (12) F. N. Z. Bewaringsproeven met boter (1933-38) : *Algemeene Nederlandsche Zuivelbond*, 's Gravenhage.
- (13) F. N. Z. Rapport général concernant les essais sur les beurres conservés pendant les années 1933-38 aux PAYS-BAS — *La Revue du Lait* - Septembre 1939, p. 674.
- (14) MOHR-RITTERHOFF (1938) : Dauerbutter aus Süsrahm oder Sauerrahm. Ein Beitrag zum Problem der Dauerbutter - *Molkerei Zeitungs Druckerei Hildesheim*.
- (15) KEESTRA (1943) : Geschiktheid van de boter voor bewaring in het Koelhuis — *Zuivelbereiding en Handel* - september.
- (16) THOME, K.E. (1953) : Changes in quality of butter during storage — *XIII<sup>me</sup> Congrès Intern. de Laiterie, LA HAYE II* - 499 et IV - 241.
- (17) PLATON, B. et OLSSON, T. (1935) : Recherches effectuées à Gotland et relatives aux possibilités d'amélioration de la qualité du beurre I. Effet sur la conservation du beurre, de la repasteurisation de la crème livrée à la laiterie où s'effectuent les barattages — *Bulletin n° 457 de l'Institut Central de Recherches Agricoles, STOCKHOLM*. — Réf. *Le Lait* 16 - 1936 - 778.

- 
- (18) PLATON, B. et OLSSON, T. (1936) : Recherches effectuées à Gotland et relatives aux possibilités d'amélioration de la qualité du beurre. II. Continuation des essais de repasteurisation de la crème pour éviter le défaut du beurre nommé « huileux » — *Bulletin n° 467 de l'Institut Central de Recherches Agricoles, STOCKHOLM* — Réf. *Le Lait* **17** - 1937 - 771.
- (19) TOWNLEY, R. C. et GOULD, I. A. (1943) : A quantitative study of the heat labile sulfides of milk. I. Method of determination and influence of temperature and time — *J. of Dairy Science*, XXVI - p. 689.
- (20) TOWNLEY, R. C. et GOULD, I. A. (1943) : A quantitative study of the heat labile sulfides of milk. II. General origin of sulfides and relation to total sulfur, total nitrogen and albumin nitrogen. III. Influence of pH, added compounds, homogenization and sunlight — *J. of Dairy Sc.* XXVI - pp. 843 et 853.
- (21) HARLAND, H. A., COULTER, S. T., JENNESS, R. (1949) : Some factors influencing the reducing systems in the dry whole milk — *J. of Dairy Sc.* XXXII - 334/344.
- (22) HUTTON, J. T. and PATTON, S. (1952) : The origin of sulfhydryl groups in Milk Proteins and their contribution to cooked flavor — *J. of Dairy Sc.* XXXV - 699.
- (23) CROWE, L. K., JENNESS, R. et COULTER, S. T. (1948) : Reducing capacity of milk as measured by a modified ferricyanide method — *J. of Dairy Sc.* XXXI - 595.
- (24) PATTON, STUART (1955) : Browning and associated changes in milk and its products. A review — *J. of Dairy Sc.* XXXVIII - 457.
- (25) PATTON, S. et JOSEPHSON, D. V. (1949) : Observations on the application of the nitroprusside test to heated milk — *J. of Dairy Sc.* XXXII - 398.
- (26) JOSEPHSON, D. V. and DOAN, F. J. (1939) : Observations on cooked flavor in Milk : Its sources and significance — *Milk Dealer* **29** - 35/41 - 1939.
- (27) LOFTUS HILLS, G. et THIEL, C. C. (1946) : The ferric thiocyanate method of estimating peroxide in the fat of butter, milk and dried milk — *J. of Dairy Res.* **14** - 340.
- (28) PERRIN, D. R., LIGHTFOOT, F. R. and MOIR, G. M. (1951) : Copper and iron in dairy produce. Improved methods of analysis — *J. Dairy Res.* **18** - 1 - 77.
- (29) JAMOTTE, P. : Rapport sur un voyage d'études au Danemark. Comité pour l'Etude Scientifique et Technique du Lait et de ses Dérivés.
- (30) VAN HAEFTEN, F. E. and PETTE, J. W. (1953) : Over de vissigheid van Koelhuisboter — *Nederl. Melk- en Zuiveltijdschr.* **7** - 41.
- (31) STUSSI (Dr. D.) (1952) : Die schweizerische Markenbutter «Floralp» und die Tätigkeit der Markenbutter Kontrollstelle in den Jahren 1948-1951 — *Schweizerische Zentralbl. für Milchwirtschaft*, N° 30-34.
- (32) VAN HAEFTEN, F. E. and PETTE, J. W. (1953) : Cold storage experiments on butter — *XIII<sup>m</sup> Congrès Intern. Laiterie, LA HAYE* II - 541.
- (33) MULDER, H. and KOPPEJAN, C. A. (1953) : The distribution of copper and iron over the various phases of milk — *XIII<sup>m</sup> Congrès Intern. Laiterie, LA HAYE* III - 1402.
- (34) MOHR, W. (1953) : Qualitätsänderungen beim Aufbewahren von Butter — *XIII<sup>m</sup> Congrès Intern. Laiterie, LA HAYE* IV - 239.
-

## DES FACTEURS CONDITIONNANT L'APTITUDE DU BEURRE A LA CONSERVATION EN FRIGO

*Comment juger rapidement si un beurre convient pour le stockage ?*

### RESUME

Depuis 1949, les auteurs ont poursuivi des essais de conservation de beurres en frigo.

Ils traitent ici des principaux facteurs qui régissent l'aptitude à la conservation au froid, pour des beurres non salés, faits de crèmes fermentées : ce sont la teneur en cuivre, le traitement thermique, le pH, la nature de la matière première.

En ce qui concerne l'influence de la teneur en cuivre, les auteurs notent le comportement différent des beurres faits de crèmes fraîches et des beurres faits de vieilles crèmes. Ils constatent que beaucoup de laiteries ont fait un gros effort pour abaisser la teneur en cuivre de leur beurre et qu'elles arrivent ainsi, dans les beurres d'été, à avoir régulièrement aux environs de 30  $\gamma$  de cuivre par kg de beurre. Si l'on compare des beurres acides à teneurs élevées en cuivre et les beurres doux ou neutralisés faits à partir des mêmes crèmes, le pH paraît avoir une influence sur la teneur en cuivre.

L'efficacité du traitement à la chaleur est appréciée à l'aide du test au nitroprussiate. Les auteurs montrent que pour les beurres de crèmes fraîches à faible teneur en cuivre, la conservation dépend essentiellement de ce traitement à la chaleur.

Le pH peut être le principal facteur de conservation : c'est le cas lorsque l'on prépare des beurres doux, des beurres faits de crèmes neutralisées avant barattage ou des beurres neutralisés au malaxage. Les auteurs relatent les résultats des essais effectués dans ce domaine.

Comme influences d'importance plutôt secondaire, les auteurs citent l'influence de l'eau de lavage du beurre et l'influence des saisons.

Les auteurs indiquent enfin, comment juger si un beurre se conservera en frigo. Pour un beurre de crèmes fraîches, il doit avoir une teneur en cuivre inférieure à 50  $\gamma$ /kg et donner au test au nitroprussiate un résultat d'au moins 1 à 1,5. Un pH de 4,8 à 5,0 est préférable à un pH inférieur à 4,5, mais ce n'est pas là cependant un facteur indispensable.

Pour des beurres faits de vieilles crèmes, les mêmes caractéristiques sont requises : elles ne sont pas cependant toujours suffisantes.

## DE FACTOREN DIE DE GESCHIKTHEID DER BOTER VOOR OPSLAG IN HET KOELHUIS BEINVLOEDEN

*Hoe kan men voorspellen of een boter om opslag in het koelhuis past ?*

### SAMENVATTING

Sedert 1949, hebben de schrijvers proefnemingen van bewaring van boters in koelhuizen gedaan.

Zij onderzoeken hier de voornaamste factoren die de geschiktheid van onge-zouten boter uit zure room gemaakt, voor opslag in het koelhuis beïnvloeden : deze zijn het kopergehalte, het pasteuriseren, de pH, en de soort van grondstof.

Wat den invloed van het kopergehalte betreft, stellen de schrijvers vast dat de boters uit verse room gemaakt van de boters uit oude room gemaakt verschillend zijn. Zij melden aan dat vele boterfabrieken grote pogingen gemaakt hebben om het kopergehalte van hun boter te verlagen. Dit kopergehalte kan gedurende het opslagseizoen, regelmatig omtrent 30  $\gamma$ /kg zijn. Het schijnt dat boter uit zoete room gemaakt een lager kopergehalte heeft dan boter uit dezelfde zure room gemaakt, indien deze laatste een hoog kopergehalte heeft.

De doeltreffendheid van het pasteuriseren is met de nitroprussiaatproef beoordeeld. Wat de boters uit verse room gemaakt betreft, hangt de bewaring wezenlijk van de doeltreffendheid van de pasteurisatie af.

De pH kan de voornaamste factor van de geschiktheid voor opslag zijn. Daarom hebben de schrijvers proefnemingen van bereiding van boter uit zoete room, en van boter uit geneutraliseerde room gedaan en hebben ook het toevoegen van neutralisationsproducten bij het kneden geproefd.

Zij geven verslag over de uitslagen van deze proefnemingen.

Wat bijhorige invloeden aangaat, kan men de invloed van het waswater en de invloed van de jaargetijden melden.

De schrijvers zeggen eindelijk hoe het mogelijk is de geschiktheid van boter voor opslag in het koelhuis te beoordelen. Indien het over een boter uit verse room gaat, moet deze boter een kopergehalte lager dan 50  $\gamma$ /kg hebben; de uitslag van de nitroprussiaatproef op deze boter moet ten minste 1 tot 1,5 zijn. Een pH van 4,8 tot 5,0 is beter dan een pH lager dan 4,5, maar deze factor is niet onontbeerlijk. Indien het over een boter uit oude room gaat, zijn dezelfde kenmerken nodig; zij zijn toch niet altijd voldoende.

---

## SOME OF THE FACTORS INFLUENCING THE KEEPING QUALITY OF BUTTER DURING COLD STORAGE

### *Can we determine the storage quality of butter beforehand?*

#### SUMMARY

Since 1949, the authors carried out experiments to determine the keeping quality of butters during cold storage.

They consider the principal factors influencing the keeping quality in the case of non salted butters manufactured from ripened cream. These factors are essentially: the copper content, the heat treatment of the cream, the pH, the raw material used.

Concerning the influence of the copper content, the authors state that the keeping quality is different in the case of butters made from fresh creams and in the case of butters made from old creams. The copper content during the storage season can be regularly as low as 30  $\gamma$ /kg. It seems that butter from sweet cream has a lower copper content than butter made from the same cultured cream, if this cream has a high copper content.

The efficiency of the heat treatment is appraised with the nitroprusside test. If butters from fresh cream with low copper content are in question, the keeping quality is essentially dependent from this heat treatment.

The pH can be the main factor of the keeping quality: therefore preparation of butter from sweet cream, from cream neutralized before churning and of butter neutralized during working, was looked at. The authors report results of such experiments.

As to accessory influences, the authors mention the influence of the wash water and the influence of the seasons.

At last, the authors say how it is possible to predict the suitability of butters for cold storage. When a butter from fresh cream, is in question, this butter must have a copper content lower than 50  $\gamma$ /kg and the result of the nitroprusside test on this butter must be at least 1 till to 1,5. A pH of 4,8 till to 5,0 is preferable to a pH lower than 4,5, but it is not an indispensable factor.

When butters from old creams are considered, the same characteristics are required, but they are not yet always sufficient.

---

## DIE FAKTOREN WELCHE DIE HALTBARKEIT DER BUTTER IM KÜHLHAUS BEEINFLUSSEN

*Kann man beim Einlagern erkennen ob eine Butter lagerfähig ist ?*

### ZUSAMMENFASSUNG

Seit 1949 haben die Autoren Versuche über die Haltbarkeit der Butter ausgeführt.

Sie betrachten die wichtigsten Faktoren welche die Haltbarkeit im Kühlhaus, der ungesalznen Butter aus saurem Rahm, beeinflussen. Diese Faktoren sind: der Kupfergehalt, die Erhitzung, der pH Wert, die Natur der Rahmen,

Was den Einfluss des Kupfergehaltes angeht, stellen die Autoren fest dasz Butter aus frischen Rahmen anders als Butter aus alten Rahmen sich verhalten. Sie erwähnen dasz viele Molkereien grosse Anstrengungen gemacht haben um den Kupfergehalt ihrer Butter niedriger zu setzen. Dieser Kupfergehalt während der Einlagerungsjahreszeit kann regelmässig ungefähr 30  $\gamma$ /kg sein. Es scheint dasz Butter aus Süsrahm gemacht, einen niedrigeren Kupfergehalt hat als Butter aus demselben Sauerrahm gemacht, wenn dieser einen hohen Kupfergehalt hat.

Die Wirksamkeit der Erhitzung wird mit der Nitroprussiatprobe beurteilt. Was die Butter aus frischen Rahmen gemacht betrifft, hängt die Haltbarkeit wesentlich von der Wirksamkeit der Pasteurisierung ab.

Der pH Wert kann der wichtigste Faktor der Haltbarkeit der Butter im Kühlhaus sein. Dem zu Folge, haben die Autoren Butter aus Süsrahm und Butter aus neutralisiertem Rahm bereitet und haben auch das Zusetzen Neutralisationsmittel beim Kneten versucht. Sie berichten die Ergebnisse dieser Proben.

Was untergeordnete Einflüsse angeht, kann man die Einflüsse des Waschwassers und der Jahreszeiten erwähnen.

Die Autoren zeigen zuletzt an wie es möglich ist die Haltbarkeit der Butter im Kühlhaus zu beurteilen. Wenn es um eine Butter aus frischem Rahm handelt, muss diese Butter einen Kupfergehalt niedriger als 50  $\gamma$ /kg haben; das Ergebnis der Nitroprussiatprobe muss zum wenigsten 1 zu 1,5 sein. Ein pH Wert von 4,8 zu 5,0 ist besser als ein pH Wert niedriger als 4,5, aber dieser Faktor ist nicht unentbehrlich. Wenn es um eine Butter aus altem Rahm handelt, sind dieselbe Charakteristiken nötig; sie sind jedoch nicht stets hinreichend.

---

# Sur l'apparente hétérogénéité de *Spirifer* (*Cyrtospirifer*) Verneuilli du gîte de Barvaux (\*)

par

V. TONNARD

---

Au cours de l'année académique passée, une excursion amena les étudiants de candidature jusqu'aux schistes de Barvaux. Du gîte à *Spirifers*, ils ramenèrent une telle quantité d'individus qu'en fouillant quelque peu le tableau de chasse, on découvrirait bientôt les formes à valves « écrasées » sur les bords dont M. VANDERCAMMEN, à l'occasion d'une communication de M. MORTELMANS, avait dénoncé l'existence (1). Si on brise ces individus à la ligne d'« écrasement », ils engendrent une forme radicalement différente.

L'attention fut aussi attirée par la grande hétérogénéité de formes et la question posée de savoir si tous ces individus appartenaient *statistiquement* à une même population morphologique. Les formes rencontrées sont en effet parfois très dissemblables.

Comme tous les individus ramassés avaient été recueillis par une cinquantaine d'étudiants dispersés sur les accotements du chemin de fer, il était impossible d'y distinguer des groupes localisables et force était d'étudier tout l'échantillon en un seul bloc.

Le rapport de mesures qui semblait le plus caractéristique est celui de la longueur à la largeur. Mais si la largeur de l'individu au droit du sillon est facile à prendre il n'en est pas de même de la longueur qu'il fallait estimer. C'est pourquoi ont été rejetés les individus dont les ailes étaient trop amputées pour pouvoir mesurer facilement la longueur au papier millimétré.

Le graphique longueur/largeur ainsi obtenu précise la première observation : si on rencontre des formes très différentes, *il y a également entre celles-ci toutes les formes intermédiaires* de sorte qu'au lieu de présenter deux ou plusieurs nuages, le graphique montre une seule nébuleuse bien répartie autour du point moyen, de part et d'autre de

---

(\*) Déposé à la rédaction le 27 avril 1956.

(1) Dont rapport fait in B.S.B.G. T. LXIV (1955) p. 178.

la droite de régression largeur longueur (droite 2). La droite 1 est la droite obtenue par la méthode des moindres carrés (fig. 1).

Signalons que les classes cumulées et exprimées en % sur le papier probite donnent une droite très satisfaisante augurant d'une distribution normale. Ces deux mesures biologiques ne permettent donc pas de mettre en évidence sur un graphique la présence de deux ou plusieurs populations.

Mais rappelons que la récolte avait été faite sans discernement aucun, le but initial n'étant pas une étude stratigraphique : tous les individus trouvés sur plus de 200 m ont été ramenés en vrac et mélan-

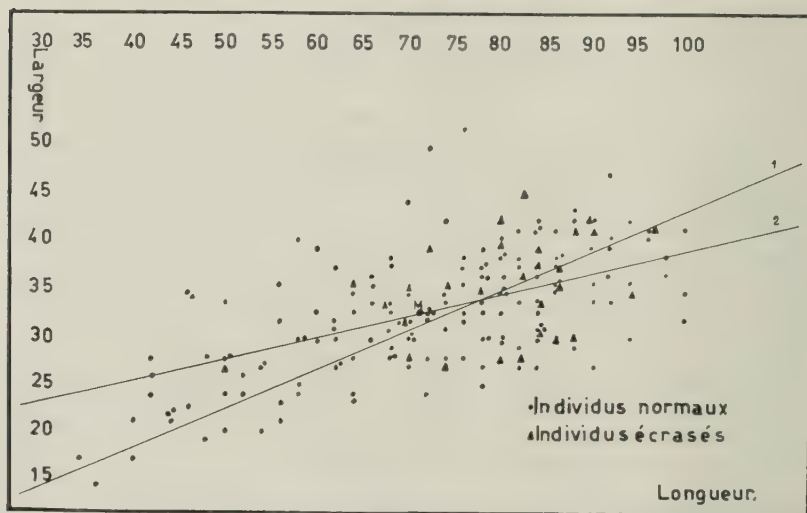


Fig. 1.

La droite de régression Largeur/Longueur (2) est théoriquement plus représentative de la loi de régression que la droite (1) construite par la méthode des moindres carrés et astreinte à passer par l'origine. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que la droite que l'on cherche à tracer ici doit représenter une loi biologique et doit donc logiquement passer par l'origine. Il faut d'ailleurs remarquer que la droite ainsi construite (1) passe très près du point moyen M.

gés. Restait à voir si en localisant les prises, on n'allait pas observer sur le graphique une répartition des échantillons zone par zone. On bien si, par l'analyse de la variance, on ne pouvait pas séparer des échantillons caractérisés par un critère stratigraphique.

Il fallait pour cela refaire une battue systématique et localiser les individus. Le terrain qui semblait le plus facile à exploiter était la partie de la tranchée du chemin de fer de Marloie à Liège au Sud du pont de la route de Marche-Aywaille au moment où celle-ci enjambe la voie.

Le Frasnien est là représenté par les schistes de Barvaux, parfois suffisamment gréseux pour que des diaclases s'y développent et pour que des mesures y soient possibles (P : 10° NW, D : N 10° E).

Comme le montre le croquis (fig. 2), les affleurements ne sont pas parfaitement uniformes mais séparés soit par des zones gréseuses de quelques centimètres d'épaisseur, soit par des bancs noduleux de quelques décimètres. Il était ainsi possible — entre le pont et la cumulée 43/3 — de définir 3 régions stratigraphiques sur 200 m environ.

- (1) : Sous le banc à nodules ;
- (2) : Entre le banc à nodules et le banc de grès ;
- (3) : Au-dessus du banc de grès.

On sait que la grande facilité d'exploitation paléontologique du gîte de Barvaux réside dans le fait que les schistes s'altérant rapidement sous les intempéries, les fossiles se dégagent presque d'eux-mêmes et après une période de gel ou de pluie, il suffit de se baisser pour les ramasser. Mais c'était précisément une chose à éviter : dégagés, les individus pouvaient se déplacer par gravité et dégringoler de (2) en (1) ou de (3) en (2), faussant la localisation des prises. C'est pourquoi seuls les individus encore enchassés dans les sédiments et qu'il fallait dégager ont été retenus pour former les échantillons. Encore que parmi ceux-ci il fallait rejeter ceux dont les ailes n'étaient pas suffisamment intactes et qu'il s'en trouva d'autres incapables de fournir les mesures complémentaires

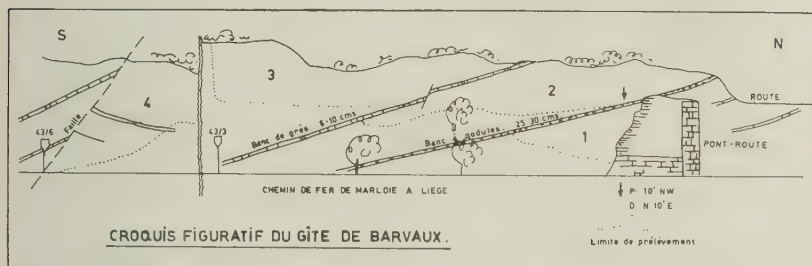


Fig. 2.

qu'on leur demanda dans la suite. On comprendra dès lors que les effectifs des échantillons soient assez faibles : 39, 40 et 46. On n'en est plus aux 165 individus qui formaient la première étude.

La normalité des populations contrôlées (cf. d'ailleurs le tableau des histogrammes) (fig. 3), le graphique longueur/largeur fut dressé dans les mêmes règles que pour l'échantillon précédent et il faut reconnaître qu'on reste perplexe quant à une distinction possible par la

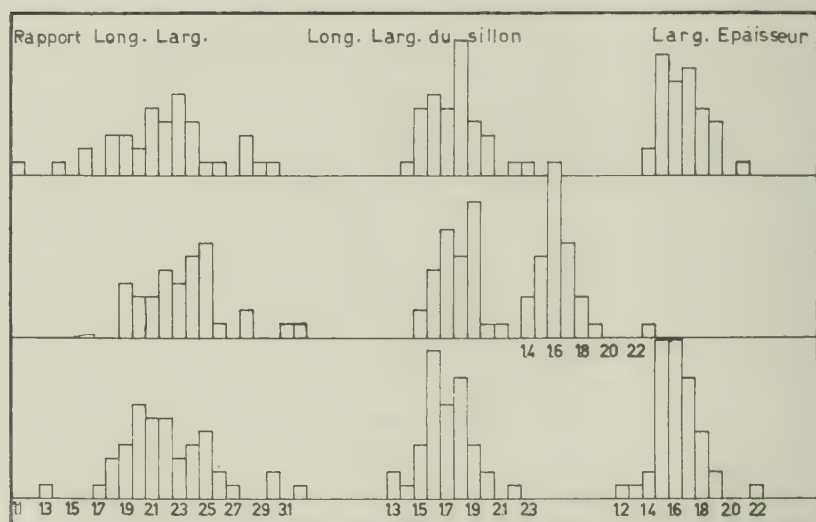


Fig. 3.

moyenne. Néanmoins une analyse de la variance fut tentée (1). Les moyennes des rapports pour les 3 groupes donnent respectivement 2, 181 : 2, 340 : 2, 224 et le tableau d'analyse de la variance se présente comme suit :

| Causes de variation | Degrés de liberté | Variations totales | Variations moyennes | F    | F (0.05) |
|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|------|----------|
| Intergroupe         | 2                 | 0,680              | 0,340               | 2,61 | 3,07     |
| Intragroupe         | 118               | 15,300             | 0,130               |      |          |
| Totale              | 120               | 15,980             |                     |      |          |

Comme on devait s'y attendre au vu du graphique, les moyennes ne sont pas significativement différentes et ne distinguent pas les groupes de l'une ou l'autre strate.

Avant de pouvoir conclure que toute la partie étudiée du gîte ne comportait que des individus appartenant à une seule population

$$(1) \quad \sum \sum (X_{ij} - \bar{X})^2 = \sum \sum (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 + n \sum (\bar{X}_i - \bar{X})^2$$

$\sum \sum (X_{ij} - \bar{X})^2 = \sum \sum X_{ij}^2 - \bar{X}T$  pour le carré d'écart de la variance totale.

$n \sum (\bar{X}_i - \bar{X})^2 = \sum X_i T_i - \bar{X}T$  pour le carré d'écart de la variance intergroupe.  
Carré d'écart de la variance intragroupe (hasard) par différence.

statistique, il importait de tester les moyennes de rapports moins visiblement variables mais qui par là-même pouvaient cacher une certaine hétérogénéité.

C'est pourquoi on a procédé à la mesure du rapport Largeur/Epaisseur. Le tableau d'analyse de la variance se présente comme suit, les moyennes étant 1,661 ; 1,632 ; 1,627.

| Causes de variation | Degrés de liberté | Variations totales | Variations moyennes | F   | F (0,05) |
|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-----|----------|
| Intergroupe         | 2                 | 0,078              | 0,039               | 1,3 | 3,08     |
| Intragroupe         | 112               | 3,188              | 0,03                |     |          |
| Totale              | 114               | 3,266              |                     |     |          |

Ici non plus, on n'arrive pas à dissocier les groupes.

Une troisième série de mesures établit le rapport Largeur/largeur du sillon au bord palléal. Les moyennes plus dispersées que dans les deux premiers cas sont : 1,752 ; 1,772 ; 1,695 et le tableau d'analyse donne :

| Causes de variation | Degrés de liberté | Variations totales | Variations moyennes | F   | F (0,05) |
|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-----|----------|
| Intergroupe         | 2                 | 0,270              | 0,14                | 4,6 | 3,08     |
| Intragroupe         | 107               | 3,510              | 0,03                |     |          |
| Totale              | 109               | 3,780              |                     |     |          |

Les moyennes sont donc significativement différentes et le test « t » donne le groupement :

1,695 (3) [1,752 (1) 1,772 (2)].

Ces dernières mesures montrent donc qu'on n'oserait pas affirmer que dans la partie étudiée, il n'y a qu'une seule et même population. Et cependant, en construisant le graphique largeur/largeur du sillon pour les 165 individus qui nous intéressaient primitivement, on trouve une nébuleuse très uniforme et bien répartie autour de la moyenne. Il semble donc bien que le rapport largeur/largeur du sillon soit un rapport assez sensible, plus sensible que les deux autres — et c'est déjà un point — mais il faudrait savoir si en s'écartant de la zone étudiée on trouverait encore moyen de dissocier de nouveaux échantillons des

premiers. En d'autres termes est-il possible de trouver une évolution basée sur des critères stratigraphiques.

Pour ce faire, une troisième incursion dans la tranchée a ramené une nouvelle faune. Mais cette fois, le prélèvement a eu lieu le plus loin possible du premier terrain dans le sens stratigraphique vertical.

Au fur et à mesure qu'on s'éloigne vers le Sud-Ouest, le long de la voie ferrée, l'inclinaison des couches devient moins forte pour donner des strates subhorizontales dans le sens de la tranchée bien qu'un pendage Ouest persiste. Ceci est normal puisqu'à l'Ouest on rencontre de petits synclinaux  $Fr_2$  fortement étirés. Nous remontons donc dans la stratification jusqu'à avoir un semblant de pendage Sud-Ouest. Cependant ce pendage est brutalement mis en contact avec une inclinaison N-W très marquée, trahissant le passage d'une faille et plus rien n'est certain quant à l'âge relatif des deux terrains en présence. C'est pourquoi on a limité les recherches à une région assez restreinte comprise entre l'endroit où les strates apparaissent subhorizontales et la faille en question, à la cumulée 43/6, soit sur 100 m à peine.

Cette partie étudiée est nettement moins fossilifère que les couches inférieures. C'est pourquoi après plusieurs heures de recherches on a difficilement rassemblé le minimum de 33 individus assez intacts que pour permettre des mesures.

D'autre part, à la sortie du village de Hotton, le long de la route de Marche, on trouve un affleurement  $Fr_{1m}$  de schistes calcaireux à nodules passant à des macignos. Cet affleurement est encombré de nombreux *Spirifer Verneulli*, mais la ténacité de la roche est telle que le dégagement des formes est rendu très délicat. A première vue, tous les individus sont nettement plus ramassés, plus trapus que ceux de Barvaux lesquels avaient d'ailleurs reçu la spécification de *Spirifer Verneulli elongati*.

La comparaison des moyennes quant au rapport Largeur Largeur du sillon des 4 groupes de Barvaux (3 contigus et un à la partie supérieure du gîte) et du groupe de Hotton donne le tableau suivant par l'analyse de la variance des moyennes : 1,752 ; 1,772 ; 1,695 ; 1,710 ; 1,857.

| Causes de variation | Degrés de liberté | Variations totales | Variations moyennes | F   | F (0.05) |
|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-----|----------|
| Inter groupe        | 4                 | 0,40               | 0,1                 | 2,5 | 2,43     |
| Intra groupe        | 169               | 6,86               | 0,04                |     |          |
| Totale              | 173               | 7,25               |                     |     |          |

Elles sont donc significativement distinctes, mais seulement au seuil 0,05.

Le test « t » y distingue des groupements :

|                                 |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| (1,695 ; 1,710 ; 1,752 ; 1,772) | groupe de Barvaux ; |
| (1,857)                         | groupe de Hotton.   |

Il faut donc renoncer à faire quelque distinction stratigraphique dans la multiplicité de formes chez *Spirifer* (*Cyrtospirifer*) *Verneuilli* de Barvaux. Ils sont très polymorphes : ceci était connu, mais on peut préciser qu'existent toutes les formes intermédiaires entre les deux plus différentes que l'on puisse trouver. La pulvérisation de ces individus en deux ou plusieurs variétés de formes semble donc artificielle. Par contre, les individus de Hotton appartiennent à une population distincte et il est logique de continuer la distinction entre ce *Spirifer* (*Cyrtospirifer*) *Verneuilli* et le *Spirifer* (*Cyrtospirifer*) *Verneuilli elongati* de Barvaux (F<sub>1</sub> et F<sub>3</sub>) (1).

\*  
\*\*

Une attention particulière doit être accordée aux formes « brisées » dont il a été question plus avant. Il faut d'emblée éliminer le phénomène accidentel. C'est en effet toujours la même valve — la valve dorsale — qui présente cette anomalie de forme.

A proprement parler, il ne s'agit d'ailleurs pas d'une cassure ni d'une brisure car on n'observe aucune fente sur la valve et les stries se continuent de part et d'autre de la flexure sans aucun décalage sauf dans de très rares cas où, tout à l'extrémité de l'aile il semble — ce qui est normal — que la valve ait pu se briser à la ligne d'inflexion. Il s'agit plutôt d'un fléchissement de la valve supérieure par lequel celle-ci serait venue se mouler sur la face interne de la valve ventrale. Le bourrelet ne s'affaisse pas et reste en relief très marqué mais le bord palléal a tendance à se retrousser comme d'ailleurs parfois les parties internes des ailes. Il faut donc signaler ici une différence sensible avec le *Productus* aff. *pustulosus* (Phillips) de Waulsort décrit par M. MORTELMANS. Ce spécimen montrait une prolongation latérale et frontale de chaque valve en une frange à peu près plane. D'autre part, SARYTCHEVA (Sur les variations de croissance des coquilles de *Productidés* - Bull. Ac. Sc. U.R.S.S. 1948, série biol. n° 2, p. 235) signale aussi des anomalies de croissance, affectant uniquement la valve ventrale, laquelle continue simplement à croître au delà de sa jonction palléale avec la valve dorsale. Chez nos *Spirifers*, il ne s'agit pas d'un prolongement de la valve ventrale, mais d'un affaissement de la valve dorsale sur la ventrale car on n'observe au point de flexion aucune cassure ni jonction, laquelle est visible — normalement — sur le bord palléal.

Le phénomène semble bien de nature biologique. Outre qu'on n'observe aucun indice de traitement brutal ou de brisure, on peut reconstituer tous les stades de cette malformation depuis l'individu à

(1) Il n'a pas été fait d'étude du rapport Longueur/Largeur car à vue directe tous les individus de Barvaux sont nettement plus allongés que les individus de Hotton.

peine marqué d'un léger pincement palléal jusqu'à l'individu fortement « écrasé » où le bourrelet est très saillant, et le bord palléal recroquevillé sur lui-même à la façon d'une feuille desséchée. Dans les cas extrêmes, d'ailleurs rares, on observe deux flexures parallèles dont la concavité est toujours tournée vers le haut. Le volume occupé par l'individu devient alors extrêmement restreint : le manteau et l'appareil brachial doivent subir une réduction fort considérable (fig. 4 et 5).

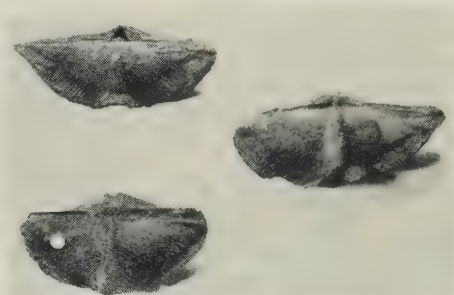


Fig. 4. — Différents stades de pincement des valves.

Dans les échantillons ramenés par les étudiants de même que dans les 3 groupes étudiés statistiquement, la proportion d'individus présentant cette anomalie était pratiquement constante : 8 à 10 %. Par contre,

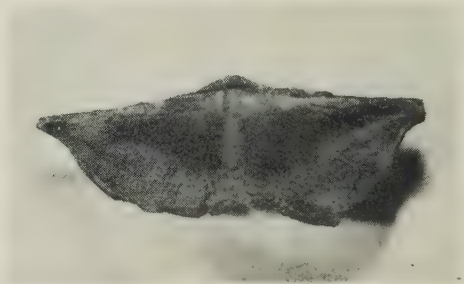


Fig. 5. — Stade ultime d'écrasement.

dans la partie supérieure du gîte où il faut le reconnaître — on n'a manié qu'une soixantaine d'individus pour en ramener trente-trois utilisables, on ne rencontre que 2 individus malformés soit un peu plus de 3 %. D'autre part, dans le gîte de Hotton, on a découvert un seul individu présentant ce caractère, soit, sur la quarantaine d'unités maniées, un peu plus de 2 %.

On pourrait donc avancer — avec les réserves d'une première hypothèse de travail — que le pourcentage d'individus « écrasés » est d'autant

plus grand que le gîte est plus riche et ces malformations pourraient correspondre à une insuffisance quelconque due à la surpopulation.

Etudions encore les individus « écrasés » du gîte de Barvaux, en les comparant aux individus normaux. On peut le faire entre tous les bancs puisqu'on a constaté qu'une même population — polymorphe mais unique — colonisait tout le gîte. En reportant les mesures de ces « anormaux » sur le graphique général (fig. 3), on peut voir qu'en règle très générale, ils se cantonnent au-dessus de la moyenne plus cependant quant à la longueur que quant à la largeur. C'est ce qu'un premier examen sommaire laissait déjà entrevoir : les individus bien développés et présentant au mieux les caractères de *Cyrtospirifer Verneuilli elongati* sont le plus souvent frappés de cette malformation. Existe-t-il une relation entre le développement de ces caractères et la malformation ? C'est ce qu'une étude statistique plus poussée pourrait peut-être préciser.

Signalons enfin qu'à la suggestion de M. le Professeur BRENY, on a essayé de repérer sur le terrain la répartition des individus malformés. Aucun résultat positif n'est encore acquis. Ces individus ne sont pas réunis en groupe, leur présence ne coïncide avec aucune modification sensible du faciès pétrographique. Bref du point de vue « écologie » la distribution de cette anomalie semble liée au hasard, du moins dans l'état actuel de la question.

Je tiens ici à remercier MM. les Professeurs GERLACHE et TEGHEM ainsi que M. DE MUNTER, assistant à la chaire de mathématiques, qui ont bien voulu m'aider de leurs judicieux conseils.

Laboratoire de Géologie.

## BIBLIOGRAPHIE

- M. LECOMTE — Cours de paléontologie. Dactylographié.
- L. MARTIN — Aperçu sur les méthodes biométriques en pédologie, in C. MANIL, E. COLLIN, R. EVRARD, R. GRUBER : Les sols forestiers de l'Ardenne - Le Plateau de Saint-Hubert-Nassogne — *Bull. Inst. agr. et des Stations de Recherche de Gembloux* - T. XXI, n° 3 - 4 1953, p. 42.
- X. STAINIER. — Lever géologique de la planchette de Durbuy-Mormont (1902).
- J. TEGHEM. — Cours de statistiques. Notes de cours.
- A. VESSERAU. — Méthodes statistiques en biologie et en agronomie - Paris - Baillière - 1947.

## Livres reçus

LERAILLEZ, Paul — La conservation industrielle des légumes - 1956, J. B. Baillière et fils, 19, rue Hautefeuille, Paris (VI<sup>me</sup>) — Un vol. 13 x 19 cm., 516 p., nombreux tableaux et fig. — 1800 FF.

La première partie de cet ouvrage est consacrée aux divers aspects de la conservation industrielle des légumes.

La deuxième partie est composée de chapitres ayant trait à des questions générales, se rapportant aussi bien aux conserves de fruits qu'à celles de légumes.

Huit chapitres composent cet ouvrage :

Les trois premiers sont consacrés aux divers procédés de conservation des légumes, par le froid, par déshydratation, par les antiseptiques. Une partie très importante est réservée au procédé de conservation par la chaleur et notamment l'appertisation, qui demeure à l'heure actuelle le procédé le plus répandu et le plus économique.

Les trois chapitres suivants traitent des problèmes de l'utilisation de l'eau dans l'industrie de la conserve en général, des accidents de conservation, du contrôle chimique et bactériologique.

Les deux derniers chapitres intéressent plus particulièrement les fabricants, car ils renseignent sur les normes professionnelles et contiennent les textes essentiels de la législation en vigueur en France.

Les questions techniques ont été traitées aussi simplement que possible, mais les enseignements pratiques, tirés du domaine de la recherche scientifique, sont mentionnés dans l'ouvrage, qui apparaît plutôt comme un manuel pratique que théorique, s'adressant aux lecteurs les moins avertis.

En outre, l'auteur fait le point des récents progrès techniques réalisés dans le domaine de la conserve et à ce titre l'ouvrage doit satisfaire aussi bien les industriels et techniciens de la partie que les étudiants, jeunes ingénieurs et profanes, désireux d'avoir une vue d'ensemble sur cette industrie alimentaire.



GALOUX, A. — Catalogue de l'Arboretum de Groenendaal - 1955, Min. de l'Agric., Administration des Eaux et Forêts, Stat. de Rech. Groenendaal. — 276 p. — nombreuses illustrations et cartes.

Le dernier catalogue de l'arboretum de Groenendaal, un de nos plus grands arboretum, datait de 1917. « Depuis lors, les connaissances dendrologiques se sont fortement accrues, les appréciations sur le comportement des espèces se sont affinées, de nouveaux enrichissements et des modifications ont eu lieu ». Il devenait nécessaire de revoir les anciennes listes. M. Galoux a remarquablement rempli cette tâche.

Après un bref aperçu sur l'histoire, les données climatiques et particulièrement le comportement lors des hivers les plus rigoureux, la pédologie, la phytosociologie de l'arboretum, l'auteur examine successivement toutes les essences en culture. La

première partie est consacrée à l'arboretum proprement dit, c'est-à-dire essentiellement les espèces arborescentes divisées elles-mêmes en essences résineuses et feuillues.

La seconde partie est une liste des essences arbustives composant le fruticetum.

L'ouvrage sera précieux aux sylviculteurs et aux propriétaires forestiers par les appréciations sur la valeur forestière des essences, avec leurs exigences particulières au point de vue sol et climat, spécialement pour la Belgique, ainsi que l'utilisation éventuelle du bois. L'architecte de parcs et jardins et l'amateur y trouveront d'autre part des indications précieuses sur la valeur ornementale des essences décrites. Félicitons à ce point de vue l'auteur d'avoir donné les colorations automnales si précieuses au point de vue décoratif.

Des cartes spécifiant l'aire de distribution de certaines essences, une cinquantaine de photos et évidemment le plan complet de l'arboretum enrichissent cet ouvrage, précieux pour tous ceux qui s'intéressent aux arbres.

G. N.

## ERRATUM

Tome XXIV, n° 2, 1956. ERRATUM : page 197, ligne 14, lire :  $Y_1 \dots Y_n$

page 197, ligne 34, lire :  $L = \frac{U - \mu U}{\sigma_U}$

page 201, ligne 29, à la place de :

« étant optimales. C'est d'ailleurs... sol », lire : On pourrait supposer qu'une de celles-ci, plus que l'autre, est susceptible de donner une appréciation valable du bilan phosphoré du sol ».







# Encyclopédie Agronomique et Vétérinaire

## MANUEL DE L'AMELIORATION DES PLANTES

par V. LATHOUWERS

*Docteur ès Sciences, Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat à Gembloux.*

Tome I : L'Amélioration générale En réimpression

Tome II : L'Amélioration du Froment, 580 pp., 66 fig. 150,00

## LE CHENE PEDONCULE ET LE CHENE ROUVRE

Leur culture en Belgique

par A. POSKIN

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. 283 pp., 54 fig., 1 carte en couleurs, br., 65,00

## PHYTOTECHNIE DE L'HEVEA — (HEVEA BRASILIENSIS)

Botanique — Amélioration — Culture et Exploitation

par M. FERRAND

*Ingénieur Agronome (A. I. Gx), Chef de la Division de l'Hevea de l'INEAC  
Directeur du Centre de Recherches de l'Inst. de Rech. pour les Huiles de Palme  
et Oléagineux de Paris.*

1 vol. 432 pp., 67 fig., 2 hors-textes 110,00

## ELEMENTS DE MICROBIOLOGIE GENERALE ET AGRICOLE

par G. VERPLANCKE

*Chargé de cours à l'Université de Gand et à l'Institut agronomique de Gand.*

1 vol. in-8°, 328 pp., 105 fig. — Epuisé

## LES BOVINS

par J. LAHAYE et J. MARCQ

*Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, Professeur à l'Institut agronomique  
à Cureghem. de l'Etat, à Gembloux.*

Tome I : La Connaissance du Bétail, 1 vol. in-8°, 208 pp., 166 fig. 130,00

Tome II : Vol. 1. Ethnographie. Hygiène. Reproduction. En réimpr.  
Vol. 2. Alimentation, 1 vol. in-8°, 644 pp., 20 fig. En réimpr.

## TRAITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

par F. LIEGEOIS

*Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*

1 vol. XXVI - 926 pp., 4<sup>e</sup> édition, 1955. 560,00

## LA FERTILISATION DU SOL ET LES ENGRAIS

par R. MEURICE

*Docteur en Sciences,*

*Directeur de la Station de Chimie et de Physique Agricoles de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8° ill., 280 pp. Epuisé

## TRAITE D'ECONOMIE RURALE

par A. DELOS

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

Tome I : La Terre, 1 vol. in-8°, 280 pp., 25 fig., br. 50,00

Tome II : Le Capital d'exploitation, 1 vol. in-8°, 372 pp., Epuisé

## PRECIS DE DROIT VETERINAIRE

par F. LIEGEOIS

*Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*

1 vol. in-8°, 332 pp.,

br. 60,00

## TRAITE COMPLET D'AVICULTURE

par J. LAHAYE, J. MARCQ et E. CORDIEZ

*Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*     *Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, 660 pp., 219 fig., 9 hors-textes en quadrichromie, br. 375,00

## LE CHEVAL

par J. MARCQ et J. LAHAYE

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*     *Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*

Tome I : Extérieur du Cheval, 304 pp., 193 fig. br. 175,00

Tome II : Zootechnie spéciale. Alimentation. Hygiène. Amélioration.  
br. 425,00

## LA CANNE A SUCRE AUX ANTILLES FRANÇAISES

par J. GUILLAUME

*Ingénieur, Chef de Fabrication aux Antilles.*

1 vol. in-8°, IX-215 pp., fig.

br. 56,00

## ELEMENTS DE PATHOLOGIE VEGETALE

appliquée à la Phytotechnie

par Em. MARCHAL

*Professeur émérite à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

P. MANIL et R. VANDERWALLE

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*     *Chargé de cours à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, XXIV-540 pp., 205 fig.

br. 290,00

## ELEMENTS DE PHYSIOLOGIE VEGETALE

Les bases scientifiques de la Phytotechnie

par Em. MARCHAL

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, XVI - 344 pp., 131 fig.

br. 225,00

## TRAITE DE SYLVICULTURE

par A. POSKIN

*Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, 532 pp., 166 fig.

br. 260,00

## A TRAVERS LES FORETS DE PINSAPO D'ANDALOUSIE

Etude de Dendrologie, de Sylviculture et d'Entomologie forestière.

par A. BARBEY

*Expert forestier, Docteur ès-Sciences.*

1 vol. in-8°, 110 pp., 41 pl.,

br. 40,00